

MMI-Interaktiv  
**Aufmerksamkeit und Situation Awareness im Fahrzeug**  
**Nr. 11, Dezember 2006**

ISSN: 1439-7854  
<http://useworld.net/mmij/driving>

MMI-Interaktiv ist ein Online-Journal im Bereich  
Mensch-Maschine Interaktion und Human Factors.  
Alle Beiträge sind durch einen Review-Prozess gegangen und  
wurden von mindestens zwei Experten begutachtet.

## **MMI-Interaktiv Nr. 11, Dezember 2006**

### **Herausgeber:**

Martin R.K. Baumann (Bundesanstalt für Straßenwesen,  
Bergisch Gladbach)

Sandro Leuchter (Fraunhofer IITB, Karlsruhe)

Leon Urbas (TU Dresden)

### **Editorial Board:**

Ralph Bruder (TU Darmstadt)

Michael Herczeg (Universität zu Lübeck)

Josef F. Krems (TU Chemnitz)

Sandro Leuchter (Fraunhofer IITB, Karlsruhe)

Kerstin Röse (TU Kaiserslautern)

Matthias Rötting (TU Berlin)

Christopher M. Schlick (RWTH Aachen)

Leon Urbas (TU Dresden)

## Inhalt

Editorial: Aufmerksamkeit und Situation Awareness im Fahrzeug <i>M. Baumann, S. Leuchter &amp; L. Urbas</i>	1
<b>Aufmerksamkeit und Situation Awareness im Fahrzeug</b>	
Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegröße im Kontext der Fahrsimulation <i>Knappe, G., Keinath, A. &amp; Meinecke, C.</i>	3
Was bedient der Fahrer? Feldversuche zu Erfassung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion <i>Sacher, H. &amp; Bubb, H.</i>	14
Multitasking-Strategien in der Mensch-Maschine-Interaktion <i>Kiefer, J., Schulz, M., Schulze-Kissing, D. &amp; Urbas, L.</i>	26
Situation Awareness beim Autofahren als Verstehensprozess <i>Baumann, M., Petzoldt, T. &amp; Krems, J.</i>	43
Fehleinschätzung von Zeit als Ursache für Ablenkungseffekte beim Fahren: Bedeutung von Menüstruktur und visuellen Anforderungen <i>Totzke, I., Schoch, S. &amp; Krüger, H.-P.</i>	58
<b>Fachbeiträge</b>	
IUUI – Intuitive Use of User Interfaces: Auf dem Weg zu einer wissenschaftlichen Basis für das Schlagwort „Intuitivität“ <i>Mohs, C., Hurtienne, J., Kindsmüller, M. C., Israel, J. H., Meyer, H. A. &amp; IUUI Research Group</i>	75
Potenzial der Anwendung von VR-Interaktionstechniken im Usability-Testing <i>Naumann, A &amp; Israel, J.H.</i>	85
<b>Community</b>	
Buchrezension: Resilience Engineering <i>Peuker, S.</i>	98



# Aufmerksamkeit und Situation Awareness beim Autofahren

MARTIN K. BAUMANN<sup>1</sup>, SANDRO LEUCHTER<sup>2</sup> & LEON URBAS<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> *Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach*

<sup>2)</sup> *Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe*

<sup>3)</sup> *Technische Universität Dresden*

Autofahren ist im Regelfall eine relativ langweilige Angelegenheit. Solange nichts Unerwartetes geschieht, sich alle anderen Verkehrsteilnehmer regelkonform verhalten und die Fahrzeuge ordnungsgemäß funktionieren, laufen die Handlungen der Fahrzeugstabilisierung und -führung weitgehend automatisiert ab und die Versuchung ist groß, sich mit anderen Dingen zu beschäftigen. Die zunehmende Fähigkeit der Fahrzeuge die Umwelt wahrzunehmen und Funktionen der Stabilisierungsebene zu unterstützen oder selbst zu übernehmen wird dieses Verlangen weiter fördern. Dass hier ein Bedürfnis zu befriedigen ist, zeigen die vielfältigen Neuerungen in der Mittelkonsole, vom MP3-Player, über den DVD-Spieler bis hin zum Internetbrowser. Da es hierzu bisher keine verbindlichen Standards, nur Empfehlungen zur Gestaltung, gibt, sind die Hersteller selbst gefragt, das Mensch-Maschine-System Fahrer-Fahrzeug so zu gestalten, dass ein sicherer Betrieb möglich ist. Voraussetzung hierfür sind empirisch fundierte Kenntnisse über Aufmerksamkeitsprozesse und über weitere kognitive Prozesse, die dazu beitragen, dass der Fahrer weiß, was um ihn herum vorgeht, und so am Aufbau von Situation Awareness des Fahrenden beteiligt sind.

Diese Ausgabe von MMI-Interaktiv Journal bringt nun verschiedene aktuelle Beiträge der deutschsprachigen Verkehrspsychologie zu diesem Themenbereich unter ein Dach. Startpunkt für diese Ausgabe war ein von Baumann, Urbas und Krems initiiertes Symposium Verkehrspsychologie auf der 48. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP) 2006 in Mainz. Dort wurde deutlich, dass insbesondere ein interdisziplinäres Werkstattmedium, wie es das MMI-Interaktiv Journal darstellt, den vielschichtigen Aspekten des Arbeitsbereiches Aufmerksamkeit und Situation Awareness beim Autofahren gerecht werden kann.

G. Knappe, A. Keinath und C. Meinecke berichten über die Eignung verschiedener Messverfahren im Fahrsimulator zur Bewertung neuartiger Anzeige- und Bedienkonzepte. H. Sacher und H. Bubb erfassen in umfangreichen Feldversuchen, welche Bedienvorgänge ihrer Fahrer sich in realen Situationen überhaupt beobachten lassen. J. Kiefer, M. Schulz, D. Schulze-Kissing und L. Urbas legen ein empirisches Fundament für die quantitative Modellierung der menschlichen Fähigkeit angemessen zwischen verschiedenen Handlungen zu wechseln. M. Baumann, T. Petzold und J.

Krems integrieren und erweitern die *construction-integration* Theorie von Kintsch, um das ursprünglich aus der Avionik stammende *Situation Awareness* Modell von Endsley für das Autofahren näher zu spezifizieren. Den schwerpunktt Themenbezogenen Teil der Ausgabe schließen I. Totzke, S. Schoch und H.-P. Krüger mit einer Simulatoruntersuchung über die Eignung von Dauerreproduktionen als Messmethode für die kognitive Beanspruchung durch (ablenkende) Nebenaufgaben ab.

Abgerundet wird die vorliegende Ausgabe durch zwei Fachbeiträge zu weiteren aktuellen Themen der Mensch-Maschine-Interaktion und eine Buchrezension. C. Mohs, J. Hurtienne, M.C. Kindsmüller, J.H. Israel, H.A. Meyer und die IUI Research Group versuchen den im Zusammenhang mit einer erstrebenswerten Qualität der Mensch-Maschine-Interaktion häufig verwendeten Begriff Intuitivität zu fassen. A. Naumann und J.H. Israel hinterfragen das Potenzial von *Virtual Reality* und der damit verbundenen Interaktionstechniken in VR-Umgebungen für die Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit in frühen Phasen des Systemdesigns. Mit S. Peukers Rezension des von Hollnagel, Woods und Leveson herausgegeben Buchs *Resilience Engineering* eröffnen wir die im Editorial der letzten Ausgabe angekündigte neue Rubrik Community.

Die Beiträge dieser Ausgabe sind über den Kurz-Link <http://useworld.net/mmij/driving> erreichbar.

Martin K. Baumann ([martin.baumann@phil.tu-chemnitz.de](mailto:martin.baumann@phil.tu-chemnitz.de)),  
Sandro Leuchter ([sandro.leuchter@iitb.fraunhofer.de](mailto:sandro.leuchter@iitb.fraunhofer.de)) und  
Leon Urbas ([leon.urbas@tu-dresden.de](mailto:leon.urbas@tu-dresden.de)).

### **Nachrichten aus dem Editorial Board**

Mit den neuen Mitgliedern Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Michael Herczeg (Uni Lübeck), Prof. Dr. Josef F. Krems (TU Chemnitz) und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christopher M. Schlick (RWTH Aachen) wird das Editorial Board in den Bereichen Software Ergonomie, Kognitions- und Verkehrspsychologie, sowie Gestaltung und Optimierung von Arbeitsprozessen verstärkt.

Unterstützen Sie den Ausbau der Rubrik Community mit redaktionellen Beiträgen wie beispielsweise Konferenzberichte, Buchrezensionen, Informationen zu Studiengängen oder Interviews! Ihre Vorschläge nehmen die Mitglieder des Editorial Boards gerne persönlich oder über [mmi@mmi-interaktiv.de](mailto:mmi@mmi-interaktiv.de) an.

# Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhalte- und Lenkmaße im Kontext der Fahrsimulation

GWENDOLIN KNAPPE<sup>1</sup>, ANDREAS KEINATH<sup>1</sup> & CRISTINA MEINECKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*BMW Group Forschung und Technik*

<sup>2</sup>*Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg*

*Schlüsselwörter: Fahrsimulation, Spurhalte- und Lenkmaße*

## 1. Einleitung

Die Entwicklung von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen im Automobilbereich findet in einem gewissen Spannungsfeld statt. Auf der einen Seite sollen derartige Systeme den Fahrkomfort erhöhen, auf der anderen Seite muss die eigene Sicherheit und die der anderen Verkehrsteilnehmer gewährleistet sein. Während ihrer Entwicklung ist folglich eine ständige Bewertung dieser Systeme hinsichtlich der oben genannten Anforderungen notwendig.

Dem Entwickler steht für eine solche Bewertung eine breite Methodenpalette zur Verfügung (vgl. Breuer, Bengler, Heinrich & Reichelt, 2003). Die Methoden unterscheiden sich erheblich in Zeit- und Kostenaufwand. Je nach Reifegrad des Systems geben anfangs bereits Cognitive Walkthroughs mit Hilfe von Zeichnungen Aufschluss darüber, ob sich der Entwicklungsprozess in die gewünschte Richtung bewegt. Im weiteren Entwicklungsverlauf bieten sich mehr oder weniger komplexe Fahrsimulatoren für eine solche Bewertung an. Am Ende des Entwicklungsprozesses steht dann der am zeit- und kostenaufwändigste Test – reale Fahrten unter realen Bedingungen oder auf einer Teststrecke.

Im Kontext von Fahrsimulationsuntersuchungen werden für eine objektive Systembewertung unter anderem Spurhalte- und Lenkmaße herangezogen. Für eine gute Interpretierbarkeit der Ergebnisse einer Untersuchung, sowie für eine vergleichende Ergebnisbetrachtung über mehrere Untersuchungen hinweg, ist eine genaue Kenntnis der Aussagekraft und der Grenzen dieser Maße unerlässlich.

## 2. Untersuchungsmethode Fahrsimulation

Der Fahrsimulator stellt eine Methode dar, die zwischen den Polen Einfachmethoden, wie beispielsweise erste Befragungen anhand von Konzeptzeichnungen, und Realfahrt zur Überprüfung der Bedienfreundlichkeit und Ablenkungswirkung von neuen Systemen steht. Wie hoch der Zeit- und Kostenaufwand einzuschätzen ist, bestimmt sich danach, welche Art von Simulator zum Einsatz kommt. Je nach Fragestellung können die Anforderungen an den Simulator stark variieren. Die folgenden Ausführungen sind an Evans (2004) angelehnt. Simulatoren beginnen bei statischen Aufbauten, die aus einem Computermonitor mit Spielelenkrad, Gas- und Bremspedal und Stuhl bestehen. Die nächste Stufe stellt einen statischen Aufbau dar, der ein wesentlich größeres Sichtfeld beinhaltet und bei dem der Proband bereits in einer sog. Sitzkiste, also einem Auto bzw. Automodell sitzt. Eine genaue Kategorisierung von statischen Fahrsimulatoren ist jedoch schwierig, da die Übergänge fließend sind.

Die aufwändigste und beeindruckendste Variante stellt zweifellos ein dynamischer Simulator dar. Dieser verfügt über eine Sitzkiste und ein großes Sichtfeld. Außerdem ist er in der Lage in gewissen Ausmaßen Flieh- und Beschleunigungskräfte eines Fahrmanövers zu simulieren (vgl. beispielsweise Huesmann, Ehmanns & Wisselmann, 2006).

Der Einsatz von Fahrsimulatoren bringt gewisse Vor- und Nachteile mit sich, die ebenfalls bei der Verwendung der Methode berücksichtigt werden sollten. Zunächst einmal lassen sich potenziell gefährliche Szenarien in einem Fahrsimulator gefahrungsfrei für den Fahrer realisieren. Seltene Ereignisse können problemlos durch Konfiguration entsprechender Verkehrssituationen repliziert werden. Verglichen mit einer Versuchsstrecke ist der Platzbedarf als eher gering einzustufen. Ein ebenfalls wichtiger Punkt aus Versuchsplanungssicht ist die beliebig häufige und exakte Wiederholbarkeit einzelner Verkehrssituationen und die damit verbundene hohe Effizienz der Versuchsdurchführung. Störende Einflussgrößen auf die Versuchsfahrten, wie Wetteränderungen oder Unterschiede hinsichtlich der Lichtverhältnisse aufgrund der Tageszeit müssen bei der Versuchsplanung nicht berücksichtigt werden. Alle Versuchsfahrten zeichnen sich somit durch eine hohe Vergleichbarkeit aus. Auch die Realisierung von stärkerem Fremdverkehrsaufkommen ist im Vergleich zu Fahrten auf Teststrecken weniger aufwändig.

Ein nicht zu vernachlässigendes Problem beim Einsatz eines Fahrsimulators stellt jedoch der Ausfall von Probanden aufgrund von Simulatorübelkeit dar. Einen guten Überblick über das Themengebiet Simulatorübelkeit findet sich bei Barret (2003). Diese Übelkeit tritt bei statischen Simulatoren auf, wenn die jeweilige Versuchsperson nicht damit zurecht kommt, dass sie ein sich bewegendes Bild betrachtet, das bis zu einem gewissen Grad das Gefühl vermittelt, dass sich die Versuchsperson selbst auch bewegt, wobei sie selbst still sitzt. Auch bei dynamischen Simulatoren kann diese Art der Übelkeit auftreten, wenn das gezeigte Fahrscenario mit dem Bewegungsmuster des Simulators nicht exakt übereinstimmt. Nach eigenen Erfahrungen muss deshalb mit einer Ausfallrate zwischen fünf und zehn Prozent gerechnet werden. Wird eine derartige Ausfallrate von vornherein bei der Versuchsplanung berücksichtigt, lässt sich dieses Problem leicht beheben.

Als Bewertungsgrundlage von Fahrerassistenz- und Informationssystemen im Kontext der Fahrsimulation werden objektiv erfassbare Größen herangezogen, aus denen



sich dann einzelne Spurhalte- bzw. Lenkmaße, wie beispielsweise die Anzahl der Spurüberschreitungen berechnen lassen. Darauf soll im nächsten Abschnitt ausführlicher eingegangen werden. An dieser Stelle ist jedoch festzuhalten, dass sich diese Maße im Simulator im Vergleich zur Realfahrt unterscheiden. Eine Validierungsstudie des eingesetzten Fahr-simulators ist unerlässlich, wenn aufgrund von Fahr-simulatoruntersuchungen Prognosen für Realfahrten gemacht werden sollen (vgl. beispielsweise Blana & Golias, 1999; Blana, 1996).

Die Erfassung der relevanten Messgrößen erfordert im Simulator keine so komplizierten Sensoren wie bei Realfahrten. Aus diesem Grund ist die Datenaufzeichnung bei Simulatorversuchen in der Regel robuster als bei Realfahrten, was es ermöglicht, viele verschiedenen Messgrößen genau zu erfassen. Anhand dieser Messgrößen können verschiedene Maße, welche die Spurhalte-güte beschreiben, berechnet und im Zusammenhang analysiert werden.

### 3. Spurhalte-güte

Die Spurhaltung stellt einen grundlegenden Teil der Fahraufgabe dar. Sie bildet beispielsweise in Michon's hierarchischem Modell (Michon, 1985) die unterste Ebene. Die zur Spurhaltung benötigten motorischen und kognitiven Prozesse laufen weitgehend automatisiert ab. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Spurhalte- und Lenkmaße sensitiv auf verschiedene Arten der Ablenkung, wie zusätzliche Tätigkeiten während der Fahraufgabe reagieren (vgl. beispielsweise Zwahlen, Adams & DeBald, 1988). Somit bieten sie sich auch für die Beurteilung des Grades der Ablenkung des Fahrers durch neue Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme an.

Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich mit einer Auswahl von Spurhalte-maßen. Anhand verschiedener Spurhalte-maße soll aufgezeigt werden, wo die Stärken und Schwächen einzelner Maße liegen und was bei ihrer Verwendung beachtet werden sollte. Diese Übersicht dient damit als Leitfaden für eine ökonomische Auswahl und Betrachtung von Maßen zur Beschreibung der Spurhalte-güte.

Bei den Messgrößen zur Spurhalte-güte kann zwischen Spurhalte-maßen und Lenk-maßen unterschieden werden. Spurhalte-maße beziehen sich auf die Position des Fahrzeugs innerhalb der Fahrbahn bzw. der eigenen Spur. Lenk-maße beschreiben das Lenkverhalten des Fahrers.

Gegenstand dieses Artikels sind auf Seiten der Spurhalte-maße die „Mittlere Laterale Position“, die „Standardabweichung der Lateralen Position“, die „Time to Line Crossing“, sowie die „Spurüberschreitungen“. An Lenk-maßen werden die „Standardabweichung des Lenkwinkels“, die „Nulldurchgänge des Lenkwinkels“, die „Steering Wheel Reversal Rate“ und der „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ betrachtet. Abgesehen von den „Nulldurchgängen des Lenkwinkels“ und dem „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ sind alle Maße gemäß DIN EN ISO 17287 (2003) relevant für die Beurteilung von Fahrerablenkung hervorgerufen durch Fahrereinforma-tions- und -assistenzsysteme.

## 3.1 Spurhaltemaße

### 3.1.1 Mittlere Laterale Position (MLP)

Die MLP bestimmt sich aus dem Mittelwert aller gemessenen Abstände eines fixen Bezugspunktes des Fahrzeugs vom linken oder rechten Spurrand. Bei dem Bezugspunkt kann es sich um den Fahrzeugmittelpunkt handeln, genauso gut ist aber auch das rechte oder linke Vorderrad möglich. Bei bekannter Spurbreite und Fahrzeugbreite ist es ein Leichtes, dieses Maß auf den jeweiligen anderen Bezugspunkt umzurechnen, falls es notwendig sein sollte, einen Vergleich über mehrere Untersuchungen mit unterschiedlichen Bezugspunkten vorzunehmen. Die MLP verfügt über eine gewisse Sonderstellung innerhalb der betrachteten Maße, da sie als einzige Auskunft über die generelle Fahrstrategie des Fahrers gibt und nicht so sehr den Schwerpunkt auf Fahrfehler und Unsicherheiten bei der Spurhaltung legt. Bei de Waard, Steyvers und Brookhuis (2004) finden sich zudem Hinweise, dass die MLP auch von der Fahrgeschwindigkeit abhängt.

Die Frage bei der Interpretation von MLP-Werten im Kontext eines Experiments bezieht sich folglich erst einmal darauf, ob ein neues System eine Strategieänderung bewirkt. Handelt es sich bei dieser Änderung beispielsweise auf der rechten Fahrspur um eine stärkere Ausrichtung zum rechten Fahrbahnrand hin, spricht das zunächst einmal für eine eher unkritische Reaktion auf ein System. Erst wenn aufgrund der Einführung eines neuen Systems extreme Werte auftreten, beispielsweise eine zu nahe Ausrichtung an einer Spurmarkierung, kann die MLP direkt im Sinne eines Fahrfehlers interpretiert werden. Eine solche Strategie bedeutet, dass sich die Auftretenswahrscheinlichkeit für bestimmte andere Fahrfehler erhöht.

Zusätzlich muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass größere interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Fahrstrategie auftreten können. Deshalb würde sich für dieses Maß auch eine Betrachtung im Sinne der Steering Entropy anbieten (vgl. Nakayama, Futami, Nakamura & Boer, 1999). Hier steht ebenfalls keine absolute Fehlerbetrachtung im Vordergrund. Vielmehr wird die durch Fahrerinformations- und -assistenzsysteme hervorgerufene Veränderung der Messwerte im Vergleich zu einer Basisfahrt für die Berechnung des Maßes herangezogen.

Für einen Fahrer, der sich lediglich auf die eigentliche Fahraufgabe konzentriert und sich dabei schon sehr nah am rechten oder auch linken Spurrand orientiert, ist eine weitere Ausrichtung nach rechts durch Bedienung während des Fahrens sicherlich kritischer als für jemanden, der ohne Bedienung absolut mittig fährt. Für die Beurteilung neuer Systeme könnten somit gerade Fahrer mit einer stärkeren Ausrichtung an einer der beiden Spurmarkierungen interessant sein, da für diesen Personenkreis Ablenkungen von der eigentlichen Fahraufgabe schneller zu einer Spurüberschreitung und damit zu einer kritischen Fahrsituation führen können.

### 3.1.2 Standardabweichung der Lateralen Position (SDLP)

Die SDLP bestimmt sich aus der Standardabweichung aller gemessenen Abstände vom Mittelpunkt des Fahrzeugs zum linken oder rechten Spurrand. Da in die Berechnung der Standardabweichung der Mittelwert und die quadrierten Abweichungen von diesem Mittelwert eingehen, ist es für einen Vergleich von Untersuchungen mit wechselnden Bezugspunkten nicht von Bedeutung, ob der linke oder rechte Spurrand als Bezugspunkt gewählt werden. Selbst wenn der Fahrzeugsbezugspunkt nicht die

Mitte des Fahrzeugs sein sollte, sondern beispielsweise das rechte Vorderrad, lässt sich dieses Maß auch noch über Versuche hinweg vergleichen. Anders als die MLP lässt die SDLP direkt Rückschlüsse auf Fahrerablenkung zu. Je größer dieses Maß ausfällt, desto größer sind die Abweichungen von der selbst gewählten „Ideallinie“ - repräsentiert durch die MLP. Nimmt die SDLP sehr hohe Werte an, steigt auch die Wahrscheinlichkeit für eine Spurüberschreitung (siehe nächster Abschnitt). Vor diesem Hintergrund ist der Ansatz, Fehler in Abhängigkeit der Höhe der SDLP zu definieren, durchaus erfolgsversprechend. Aufgrund der Tatsache, dass sich die SDLP sehr einfach berechnen lässt und an keine großen technischen Voraussetzungen gebunden ist, wird sie in vielen Untersuchungen eingesetzt. Bei einem Vergleich absoluter Werte ist die Vergleichbarkeit der Versuchsszenarien entscheidend. Nur wenn gefahrene Geschwindigkeit und Kurvigkeit der Strecke annähernd vergleichbar sind, lässt sich sicherstellen, dass gefundene Unterschiede in der SDLP tatsächlich auf unterschiedliche Grade der Ablenkung durch die untersuchten Systeme zurückzuführen sind.

### **3.1.3 Spurüberschreitungen (LANEX)**

Eine Spurüberschreitung liegt dann vor, wenn ein definierter Teil des Fahrzeugs die eigene Spur verlässt. Hier finden sich eine Reihe von mehr oder weniger strengen Kriterien in der Literatur. Eine sehr strenge Definition zählt es bereits als Spurüberschreitung, wenn die Außenseite des linken oder rechten Reifens die linke oder rechte Spurmarkierung berührt (vgl. Östlund, Nilsson, Carsten, Merat et. al., 2004). Eine sehr lockere Definition sieht erst dann das Vorliegen einer Spurüberschreitung, wenn sich mehr als die Hälfte des Fahrzeugs auf der angrenzenden Spur befindet (vgl. Liu, Schreiner & Dingus, 1999). Ob sich Ergebnisse, die sich auf dieses Maß beziehen, über Untersuchungen hinweg vergleichen lassen, hängt somit sehr stark von der gewählten Definition ab. Ein nachträgliches Umrechnen auf den jeweils anderen Bezugspunkt ist nur möglich, wenn die Messreihen und die Spurgeometrie vorliegen. Selbst dann ist eine Umrechnung jedoch mit Aufwand verbunden. In der Regel können also nur Untersuchungen verglichen werden, bei denen die gewählten Bezugspunkte und die Spurbreite annähernd übereinstimmen. Dieses Maß besitzt eine hohe Augenscheinvalidität, da es leicht nachvollziehbar zeigt, wie zu starke Fahrerablenkung zu einer tatsächlichen Gefährdungssituation werden kann.

Wenn eine einzelne Untersuchung im Mittelpunkt der Betrachtung steht, reicht bereits die absolute Anzahl an Spurüberschreitungen zur Ableitung der nächsten Handlungsschritte aus. Jede Spurüberschreitung bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Kontakt mit anderen Verkehrsteilnehmern oder ein Rutschen in den Straßenrinnen bzw. in die Bankette stark erhöht ist.

Ein Vergleich von Spurüberschreitungen über mehrere Untersuchungen hinweg wird anhand von drei Berechnungsvarianten möglich, die im Folgenden vorgestellt werden. Ein Ansatz ist es, die Anzahl pro gefahrenen Kilometer anzugeben. Je nach Vorgaben bzgl. der zu fahrenden Geschwindigkeit, sind die beiden nächsten Berechnungsvarianten redundant oder aber jeder für sich zusätzlich informativ. Eine Variante, die eine Einordnung einzelner Spurüberschreitungen hinsichtlich ihrer Schwere ermöglicht, ist die Betrachtung von Metern, die außerhalb der Spur gefahren wurden. Die andere Variante umfasst die Analyse der Dauer einer Spurüberschreitung. Unter der Voraussetzung, dass mit zunehmender Länge einer Spurüberschreitung die

Wahrscheinlichkeit für einen Unfall weiter steigt, geben diese beiden Berechnungsvarianten Auskunft über die Schwere der vorliegenden Spurüberschreitungen.

Einen großen Nachteil dieses Maßes stellt die Auftretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses während einer Versuchsfahrt dar. In Abhängigkeit von gewählter Versuchsstrecke und Versuchsbedingung handelt es sich um ein mehr oder weniger seltenes Ereignis, weshalb eine rein quantitative Betrachtung zu starken Verzerrungen führen kann. Eigene Erfahrungen zeigen gerade bei diesem Maß große interindividuelle Unterschiede im Fahrsimulator. Tritt dieses Maß insgesamt zu häufig auf, ist es ein starker Indikator dafür, dass ein Fahrerassistenz- oder Fahrerinformationssystem modifiziert werden sollte. Darüber hinaus sollte eine zusätzliche qualitative Analyse einzelner Spurüberschreitungsereignisse in Erwägung gezogen werden, damit die eigentliche Ursache für die Spurüberschreitung möglichst genau bestimmt werden kann.

### **3.1.4 Time to Line Crossing (TLC)**

Dieses Maß geht auf Godthelp, Milgram & Blaauw (1984) zurück. Die TLC gibt für einen gegebenen Zeitpunkt an, in welcher Zeit das Fahrzeug mit dem linken bzw. rechten Vorderrad bei gedachtem gleichem Kurs und der aktuellen Geschwindigkeit die Spurmarkierung erreichen wird.

Die TLC wird üblicherweise in Sekunden angegeben. Je geringer die Werte ausfallen, desto wahrscheinlicher wird eine Spurüberschreitung. Wird auf einer geraden Spur ein exakter Parallelkurs eingeschlagen, geht der Wert für dieses Maß gegen unendlich. Für die erfassten TLC Werte existieren verschiedene Berechnungsvarianten. Beispielhaft seien hier zwei dieser Maße erläutert.

Östlund et. al. (2004) schlagen vor, den Mittelwert der Minimumswerte im TLC - Signal zu berechnen. Ein Minimumswert wird dabei nur gezählt, wenn das zugehörige Wellental länger als eine Sekunde dauert. TLC - Werte größer als 20 Sekunden werden vollständig ignoriert. Eine andere, ebenfalls von Östlund et al. (2004) vorgeschlagene Möglichkeit, ist die Bestimmung des Anteils der Minima kleiner gleich einer Sekunde an der Gesamtzahl aller Minima. Die Werte kleiner gleich einer Sekunde werden deshalb als besonders kritisch angesehen, da dem Fahrer praktisch keine Zeit mehr für Lenkkorrekturen bleibt.

Ein Minimumswert im TLC - Signal tritt dann auf, wenn der Fahrer auf eine der beiden Spurbegrenzungen zufährt und anschließend eine Lenkkorrektur vornimmt, um eine Spurüberschreitung zu vermeiden. Je kleiner der Wert dieses Minimums ist, desto näher war das Fahrzeug davor die eigene Spur zu verlassen. Bei einem Vergleich der beiden oben genannten Berechnungsverfahren fällt auf, dass diese nach unterschiedlichen Berechnungsverfahren gewonnenen Maße auch unterschiedliche Schwerpunkte haben.

Der Anteil der Minimumswerte kleiner gleich einer Sekunde kann je nach gewählter Strecke und Aufgabe recht klein sein und kann damit, ähnlich wie die Spurüberschreitungen, zu einem eher seltenen Ereignis werden. Der Mittelwert der TLC - Minima wird hingegen über alle Minima berechnet. Kleinere Werte in diesem Maß deuten dabei auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für kritische Fahrsituationen hin. Es werden jedoch keine Aussagen über die Häufigkeit der kritischen Situationen getroffen.

## 3.2 Lenkmaße

### 3.2.1 Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST)

Für die Bestimmung dieses Maßes wird über alle aufgezeichneten Lenkwinkel die Standardabweichung berechnet (vgl. beispielsweise Liu, Schreiner & Dingus, 1999). Die Geradeausstellung des Lenkrades entspricht dabei einem Lenkwinkel von 0°. Dieses Maß ist extrem abhängig von der Kurvigkeit der gefahrenen Strecke und somit kaum über verschiedene Untersuchungen hinweg vergleichbar. Innerhalb ein und derselben Strecke, vor allem auf geraden Streckenabschnitten, gibt dieses Maß Aufschluss über die Größenordnung der Lenkbewegungen im betrachteten Streckenabschnitt. Im Zweifelsfall sollte dieses Maß mit Vorsicht interpretiert werden, damit nicht anstelle eines neuen Systems spezifische Charakteristiken der gefahrenen Versuchsstrecke in den Mittelpunkt der Betrachtung geraten. Eine Möglichkeit, diese Fehlerquelle zu minimieren, stellt ein Vergleich der Standardabweichung des Lenkwinkels während der Fahrt mit dem System mit der einer Basisfahrt dar. Von reinen Absolutbetrachtungen wird abgeraten, da sie mehr Auskunft über die Strecke als über das jeweilige System geben.

### 3.2.2 Nulldurchgänge des Lenkwinkels (ZERO)

Bei diesem Maß wird gezählt, wie oft der aufgezeichnete Lenkwinkel sein Vorzeichen ändert, also wie oft das Lenkrad über die Geradeausstellung hinweg bewegt wird. Höhere Werte bei diesem Maß können durch ein unruhigeres Lenkverhalten aufgrund von Fahrerablenkung zustande kommen. Allerdings fließt auch der gewählte Streckenverlauf in das Ergebnis mit ein. Dies erschwert eine inhaltliche Interpretation des Wertes. (vgl. auch Roskam, Brookhuis, de Waard, Carsten et al., 2002). Im Zweifelsfall sollte auch bei diesem Maß für die Beurteilung eine Basisfahrt als Vergleichsgröße gewählt werden. Beim Vergleich von unterschiedlich langen Strecken muss dieses Zählmaß unbedingt an der Länge der gefahrenen Strecke oder der gefahrenen Zeit relativiert werden.

### 3.2.3 Steering Wheel Reversal Rate (SRR)

Die Bestimmung der zuletzt besprochenen Lenkwinkelmaße zeichnet sich durch eine gewisse Einfachheit aus. Für die Berechnung dieses von McLean und Hoffmann (1975) vorgeschlagenen Maßes, ist jedoch ein größerer mathematischer Aufwand nötig. Dieses Maß zählt alle Umkehrungen ab einer gewissen Winkeldifferenz im Lenkwinkelsignal, der so genannten Abstandsgröße (engl. *gap size*). Die absolute Anzahl wird dann in Beziehung zu der gefahrenen Zeit gesetzt. Dazu ist es nötig alle absoluten Minima und Maxima innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls im Signal ausfindig zu machen. Eine Umkehrung wird dann gezählt, wenn die Winkeldifferenz zwischen zwei angrenzenden Extrempunkten größer oder gleich der Abstandsgröße ist. Typische Abstandsgrößen liegen bei diesem Maß zwischen einem und sieben Grad. Damit diese Punkte leichter ausfindig gemacht werden können, wird das Signal mit einem Tiefpassfilter gefiltert, um hohe Frequenzen bzw. das Rauschen aus dem Signal zu eliminieren (vgl. Östlund et al., 2004).

Je nach gewählter Abstandsgröße zeigt dieses Maß also bezogen auf die Zeit die Anzahl von entsprechend großen Lenkkorrekturen an. Je größer die Abstandsgröße gewählt wird, desto größere Lenkkorrekturen werden erfasst. Wird die Abstandsgröße im Gegensatz dazu sehr klein gewählt, korreliert das Maß stärker mit der HFC (siehe

unten). Über die optimale Abstandsgröße besteht noch keine Einigkeit. Oft werden im Rahmen einer Untersuchung verschiedene Abstandsgrößen berechnet und die geeignetste anhand der größten Effektstärke bestimmt.

Vorteilhaft an diesem Maß ist, dass es nicht so stark streckenabhängig wie beispielsweise die SDST ist. Auf Grund der Ermittlung der Extrempunkte in einem bestimmten Zeitintervall wird die Streckenabhängigkeit dieses Maßes verringert. Bei einem Vergleich über mehrere Untersuchungen hinweg, muss natürlich sichergestellt sein, dass den Berechnungen eine identische Abstandsgröße zu Grunde liegt.

### 3.2.4 Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels (HFC)

Auch dieses Maß geht auf McLean und Hoffman (1971) zurück. Sie fanden heraus, dass hochfrequente Lenkbewegungen im Bereich von 0,35 bis 0,6 Hz sensitiv für Zweitaufgabenbearbeitung sind. Zur Berechnung des mathematisch anspruchsvollen Maßes existieren mehrere Berechnungsmöglichkeiten. Bei Östlund et al. (2004) wird das Gesamtsignal mit einem Tiefpassfilter (Butterworth 2nd, cut-off 0,6 Hz) gefiltert. Durch diese Filterung ergibt sich das so genannte Gesamtlensignal (engl. *all steering activity signal*). Eine weitere Filterung mit einem Hochpassfilter (Butterworth 2nd, cut-off 0,3 Hz) liefert das interessierende Frequenzband. Das Verhältnis der Energien von Frequenzband zum Gesamtlensignal ergibt den Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels.

Mit dieser Vorgehensweise soll erreicht werden, dass nur Lenkkorrekturen, die im hochfrequenten Bereich angesiedelt sind, in die Betrachtung eingehen. Damit ist das Maß unabhängig vom Streckenverlauf. Da in der Praxis jedoch auch verschiedene Verfahrensweisen, insbesondere bei der Art der verwendeten Filter und der Frequenzbandgrenzen, zur Bestimmung des Maßes angewendet werden, ist für einen eindeutigen Vergleich die Kenntnis der genauen Berechnungsverfahren notwendig.

## 4. Zusammenfassung & Diskussion

In der Tabelle 1 findet sich eine zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Maße.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Maße

Maß	Streckenabhängigkeit	Bedeutung	Berechnungsaufwand	Literatur
MLP	Gering	Fahrstrategie	Gering	Östlund et. al 2004
SDLP	Moderat	Stabilität der Lenktätigkeit	Gering	DIN EN ISO 17287 (2003)
LANEX	Moderat	Fahrfehler	Moderat	DIN EN ISO 17287 (2003)
TLC	Moderat	Sicherheitsabstand für die Querführung	Moderat/Hoch	Östlund et. al. 2004
SDST		Lenkkorrekturen	Gering	Liu et. al. 1999
ZERO	Hoch	Häufigkeit von Lenkkorrekturen	Moderat	Roskam et. al. 2002
SRR	Gering /Moderat	Häufigkeit von Lenkkorrekturen	Hoch	McLean & Hoffmann 1975
HFC	Gering	Mikrolenkkorrekturen	Hoch	McLean & Hoffmann 1971

Die Beurteilung des Berechnungsaufwandes ist dabei abhängig von der Messwertbereitstellung des jeweils eingesetzten Fahrsimulators. Liefert ein Simulator bereits TLC-Werte, ist die Bestimmung der Minima sicherlich einfacher und schneller möglich, als wenn in einem ersten Schritt zunächst die TLC-Werte selbst berechnet werden müssen. Sobald ein entsprechendes Programm zur Berechnung der SRR oder der HFC vorhanden ist, kann der Berechnungsaufwand auch als moderat eingestuft werden.

Generell ist es immer sinnvoll, die Ergebnisse einer Zweitaufgabenfahrt mit denen einer Basisfahrt zu kontrastieren. Ist dies aus Versuchsumfangsgründen nicht möglich, sollten die Maße, bei denen in Abschnitt 3 eine Basisfahrt empfohlen wurde, mit Vorsicht interpretiert werden.

In der Literatur finden sich Belege dafür, dass die beschriebenen Maße gut geeignet sind, die Ablenkungswirkung von visueller und motorischer Beanspruchung aufzuzeigen (vgl. beispielsweise Östlund et al., 2004). Die daraus resultierende beeinträchtigte Kursverfolgung zeigt sich dabei sowohl anhand einer Zunahme der Lenkaktivität als auch einer Zunahme der Variabilität in der Querführung. Im Vergleich zu einer Basisfahrt sollten, abgesehen vom Mittelwert der TLC-Werte im Lenksignal, die Werte aller Maße für eine Zweitaufgabenfahrt höher ausfallen. Beim Mittelwert der TLC-Werte im Lenksignal sind kleinere Werte zu erwarten.

Im Hinblick auf die Ablenkungswirkung von kognitiver Beanspruchung berichten Engström, Johansson & Östlund, (2005) von einer Stabilisierung im Spurhaltemaß SDLP. In den Lenkwinkelmaßen fanden sie, wie bei der visuellen Beanspruchung, eine Zunahme der Lenkaktivität. Insgesamt fehlt aber noch ein umfassendes Verständnis für die Auswirkungen dieser Form der Ablenkung auf die Spurhaltegröße.

Einzelne Maße erfassen somit durchaus verschiedene Aspekte der Spurhaltegröße und reagieren damit unterschiedlich im Hinblick auf unterschiedliche Formen der Fahrerablenkung. Gerade die Lenkmaße können darüber hinaus zu einem nicht unerheblichen Teil durch Unterschiede in der Lenkstrategie beeinflusst werden (vgl. beispielsweise Godthelp et al., 1984).

Diese Ausführungen verdeutlichen, dass von einer isolierten Betrachtung einzelner Spurhalte- und Lenkmaße bei der Bewertung von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen abzuraten ist. Vielmehr stellt erst eine integrierte Betrachtungsweise sicher, dass das gefundene Ausmaß an Fahrerablenkung wirklich auf das System zurückzuführen ist und keine Artefakte, wie beispielsweise der Streckenverlauf, interpretiert werden. Bei zu kurvigen Versuchsszenarien sollte aber in jedem Fall von einer Verwendung der Maße SDST und ZERO abgesehen werden.

Darüber hinaus weisen die Ausführungen zu den Maßen der Fahrzeugquerregelung auf zwei Problembereiche hin. Zum einen ist es notwendig, die Erfassung und Berechnung der Spurhaltegröße weiter zu standardisieren, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Untersuchungen zu gewährleisten. Da einige Berechnungsvarianten nach wie vor einen stark pragmatischen Ansatz aufweisen, ist zum anderen weiterführende Forschung auf diesem Gebiet nötig, um diese Berechnungsvarianten noch stärker mit theoretischen Inhalten verbinden zu können.

## 5. Literatur

- Barret, J. (2003). *Side effects of virtual environments: A review of the literature*. Tech.-Report DSTO-TR-1419. Edinburgh South Australia: DSTO.
- Blana, E. (1996). *Driving Simulator Validation Studies: A literature review*. Working Paper 480, Leeds Institute of Transportation Studies.
- Blana, E., Golias, J. (1999). Behavioural Validation of a Fixed-Base Driving Simulator. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris, France, 1999*, 227-240.
- Breuer, J., Bengler, K., Heinrich, C., & Reichelt, W. (2003). Development of advanced driver attention metrics (ADAM). In H. Strasser, K. Kluth, H. Rausch, & H. Bubb (Eds.). *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future. Proceedings of the 50th – Anniversary Conference of the GfA and the XVII Annual ISOES Conference in Munich, 2003* (S. 37-40). Stuttgart: Ergonomia.
- de Waard, D., Steyvers, F. J. J. M., & Brookhuis, K. A. (2004). How much visual road information is needed to drive safely and comfortably. *Safety Science*, 42, 639-655.
- DIN EN ISO 17287 (2003). Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen – Verfahren zur Bewertung von Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs.
- Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F*, 8, 97-120.
- Evans, L. (2004). *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society.
- Godthelp, H., Milgram, P., & Blaauw, G. J. (1984). The development of a time-related measure to describe driving strategy. *Human Factors*, 26 (3), 257-268.
- Huesmann, A., Ehmanns, D., & Wisselmann, D. (2006). Development of ADAS by Means of Driving Simulation. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris, France, 2006*, 131-141.
- Liu, Y.-C., Schreiner, C.S., & Dingus, T.S. (1999). Development of human factors guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operation (CVO): Human Factors Evaluation of the Effectiveness of Multimodality Displays in ATIS. NHTSA FHWA-RD-96-150.
- McLean, J.R., Hoffman, E.R. (1971). Analysis of Drivers Control Movements. *Human Factors*, 13(5), 407-418.
- McLean, J.R., Hoffman, E.R. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors*, 17, 248-256.
- Michon, J.A. (1985). A critical review of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R.C. Schwing (Hrsg.). *Human Behavior and Traffic Safety*, 485-521. New York: Plenum Press.



- Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T., & Boer, E.R. (1999). *Development of a Steering Entropy Method for Evaluating Driver Workload*. Technical Paper Series: 1999-01-0892, Detroit, Michigan: SAE.
- Östlund, J., Nilsson, L., Carsten, O., Merat, N., Jamson, H, Jamson, S., Mouta, S., Carvalhais, J., Santos, J., Anttila, V., Sandberg, H., Luoma, J., de Waard, D., Brookhuis, K., Johansson, E., Engström, J., Victor, T., Harbluk, J., Janssen, W., & Brouwer, R. (2004) *Deliverable 2 - HMI and Safety-Related Driver Performance*. Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe. Project GRD1/2000/25361 S12.319626.
- Roskam, A.J., Brookhuis, K.A., de Waard, D., Carsten, O.M.J., Read, L., Jamson, S., Ostlund, J., Bolling, A., Nilsson, L., Anttila, V., Hoedemaeker, M., Janssen, W.H., Harbluk, J., Johansson, E., Tevell, M., Santos, J., Fowkes, M., Engström, J. & Victor, T.(2002). *Deliverable 1 – Development of Experimental Protocol*. Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe (HASTE) Project GRD1/2000/25361 S12.319626.
- Zwahlen, H.T., Adams, C.C., & DeBald, D.P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In A. G. Gale, et al. (Hrsg.), *Vision in Vehicles II*, 335-344. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

# Was bedient der Fahrer?

## Feldversuche zu Erfassung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion

HEIKE SACHER & HEINER BUBB

*Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München*

*Schlüsselwörter: Feldversuche, Automobil, Bedieninteraktionen*

### 1. Hintergrund

Bei der Konzeption und Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen spielt neben ergonomischen Aspekten wie beispielsweise Erreichbarkeit und Sichtbarkeit die Nutzungshäufigkeit der verschiedenen Funktionen eine Rolle. Über die Nutzung der verschiedenen Bediensysteme im Fahrzeug ist aber wenig bekannt. Es gibt einige interne Studien der Fahrzeughersteller aus den 80er Jahren. Mittlerweile sind jedoch verschiedene Interaktionsmöglichkeiten des Fahrers mit dem Fahrzeug hinzugekommen, so dass diese älteren Studien mittlerweile keinen Bezug zur aktuellen Realität mehr aufweisen. Das Wissen über die Nutzung der Systeme ist vor allem deswegen von Bedeutung, da der Trend in der Automobilindustrie zum Einbau weiterer Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme geht, mit denen der Fahrer interagieren kann bzw. muss. Es macht aber nur Sinn, weitere Bediensysteme im Fahrzeug zu integrieren, wenn bekannt ist, ob die Fahrzeugführer das bisherige Angebot an Bedienmöglichkeiten handhaben können bzw. überhaupt nutzen.

Falls verschiedene Funktionen im Fahrzeug nicht genutzt werden, ist es von Bedeutung, die Nichtnutzung zu hinterfragen. Gründe für die Nichtnutzung eines Systems aus Sicht des Fahrzeugführers können beispielsweise sein:

- Das System wird als überflüssig angesehen.
- Das System wird prinzipiell als sinnvoll angesehen, es ergab sich aber noch keine Situation, in der es zur Nutzung kommen konnte.
- Der Erstkontakt mit dem System war sehr umständlich bzw. für den Nutzer unverständlich, daher verlor es an Wert und wird als nicht mehr nutzbar angesehen.

- Dem Nutzer ist nicht bewusst, dass es das System gibt.

Daher wurde das INI.TUM Projekt „Analyse von Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen“ konzipiert, welches die Nutzung verschiedener System im Fahrzeug unter Realbedingungen untersuchen sollte. Dabei ging es zum einen um die Erarbeitung einer Methodik, wie solche „Real-Life“-Versuche durchgeführt werden können, zum anderen um Ergebnisse bezüglich Bedienhäufigkeiten und -kombinationen. Das Besondere an diesem Ansatz sind Probandenfahrversuche über einen längeren Zeitraum hinweg. Im Folgenden wird kurz auf die Untersuchungsmethodik, auf den Aufbau des Versuchsfahrzeuges und einige Ergebnisse eingegangen.

Darüber hinaus gibt es verschieden europäische Bestrebungen, die Ablenkungswirkung verschiedener Bediensysteme zu klassifizieren (European Commission, 2005). Meist werden verschieden Fahrerinformationssysteme im Simulator oder in definierten Versuchsfahrten mithilfe definierter Aufgaben getestet. Es bleibt aber die Frage offen, wie oft im Fahralltag die getesteten Situationen tatsächlich eintreten.

## **2. Untersuchungsmethodik**

### **2.1 Überblick**

In dem INI.TUM Projekt „Analyse von Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen“, das am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München in Kooperation mit der AUDI AG, Abteilung Ergonomiekonzepte, durchgeführt wurde, war es Ziel, Langzeitfahrversuche mit der Zielsetzung Erfassung der Bedientätigkeiten mit geübten Probanden durchzuführen. Als Versuchsfahrzeug diente ein Audi A8 mit Vollausstattung. Unter geübten Probanden wurden in diesem Fall Audi A8 Besitzer verstanden, die dieses Fahrzeug seit mindestens drei Wochen besitzen (Weinberger, 2000), da man erst nach dieser Zeitspanne davon ausgehen kann, dass die Probanden sich an das Fahrzeug gewöhnt haben. Natürlich ist eine längere Gewöhnungszeit an das Fahrzeug von Vorteil, doch muss bei dieser Nutzgruppe von häufigen Fahrzeugwechseln ausgegangen werden. Die meisten untersuchten Probanden besaßen das Fahrzeug aber schon seit etwa sechs Monaten. Zusätzlich zu den Fahrversuchen wurden die Probanden noch zu ihrer Fahrzeugeinstellung und ihren normalen Fahrgewohnheiten befragt.

### **2.2 Versuchsfahrzeug**

#### **2.2.1 Exkurs: Ausstattung Versuchsfahrzeug**

Zur besseren Verständlichkeit der Untersuchung werden hier kurz einige Fahrerinformationssysteme und Fahrerassistenzsysteme und deren Ausprägung im Audi A8 näher beschrieben. Dies ist von Bedeutung, da davon auszugehen ist, dass die Bedienung eines Systems auch mit dem Aufbau des Systems korreliert.

Das Fahrzeug ist ein Audi A8, Baujahr 2003, mit Automatikgetriebe. Der Gangwahlhebel befindet sich in der Mittelkonsole (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Fahrerarbeitsplatz Audi A8

Hinter dem Gangwahlhebel befindet sich die Bedieneinheit des Multi-Media-Interface (MMI). Siehe hierzu Abbildung 2. Hier können anhand so genannter Hardkeys die Menüfunktionen Navigation, Radio, CD/TV, Info, Setup, Adressbuch, Car und Telefon aufgerufen werden.



Abbildung 2: MMI Bedienteil

Innerhalb der verschiedenen Menüs kann sich der Nutzer anhand der Quattro Logic weiterbewegen. Diese besteht aus dem Drehdrücksteller und den vier daneben angeordneten Tasten, den so genannten Softkeys, die abhängig von der Menüwahl verschiedene Bedeutung annehmen können. Die Bedeutung ist über das zentrale Mitteldisplay erkennbar, dort wird in den vier Ecken die Menüauswahl angezeigt. Abbildung 3 zeigt am Beispiel des Hauptmenüs Navigation die Belegung der Softkeys mit Speicher, Route, Navigationsinformation und Karte.



Abbildung 3: Belegung der Softkeys anhand des Navigationsmenüs

In der Schalttafel befindet sich das Klima-Bedienteil, das in Analogie zum MMI-Bedienteil konzipiert ist. Anhand eines Drehreglers kann die Temperatur eingestellt werden. Aufgrund der verschiedenen Tasten um den Drehregler herum können Sitzheizung, Luftverteilung und Gebläsestärke eingestellt werden.

Das Adaptive Cruise Control (ACC) ist ein automatisches Längs- und Abstandsregelungssystem. Vom Fahrer kann ein Wunschgeschwindigkeit und ein bevorzugter

Abstand eingestellt werden. Anhand dieser Angaben fährt das Fahrzeug dann so schnell wie gewünscht, falls freie Fahrt herrscht. Ist das Eigenfahrzeug durch ein Vorderfahrzeug gehindert, die gewünschte Geschwindigkeit zu fahren, wird mit dem voreingestellten Abstand dem Vordermann gefolgt. Das Eigenfahrzeug brems mit einer bestimmten Verzögerung automatisch ab. Ist die Verzögerung nicht ausreichend, so dass es zu einem Unfall kommen könnte, wird der Fahrer durch eine optische und optionale akustische Anzeige darauf hingewiesen, dass er, der Fahrer, wieder die Geschwindigkeits- und Abstandsregelung selbst übernehmen muss.

Um das ACC zu bedienen, steht dem Fahrer ein Hebel zur Verfügung, der links am Lenkstockhebel unterhalb des Wischerhebels angebracht ist (siehe Abbildung 4). Der Hebel hat folgende Bedienmöglichkeiten: Zum einen ist auf der Oberseite des Hebels die Rastung für die Distanzeinstellung angebracht. An der linken Seite befindet sich die Set-Taste, mit der die aktuelle Geschwindigkeit als Wunschgeschwindigkeit übernommen werden kann. Das Drücken der Taste Set ist notwendig zur Erstaktivierung des ACC nach Motorstart. Darüber hinaus kann, wenn einmal eine Wunschgeschwindigkeit gesetzt wurde, das ACC beendet werden, indem der Fahrer kurz bremst, oder der Hebel kurz nach hinten gedrückt wird, in die Stellung cancel. Danach kann die zuvor eingestellte Wunschgeschwindigkeit wieder hergestellt werden, indem der Fahrer kurz den ACC-Hebel zu sich heranzieht und dadurch die so genannte Resume Funktion aktiviert. Es besteht auch die Möglichkeit, das ACC im Ganzen zu deaktivieren. Dafür muss der ACC Hebel länger nach hinten gedrückt werden, so dass der Hebel in einer anderen Stellung einrastet (Off-Stellung). Dadurch wird die zuvor eingestellte Wunschgeschwindigkeit gelöscht, alle Funktionen des Hebels können nicht mehr ausgeführt werden.

Falls eine Wunschgeschwindigkeit eingestellt ist, kann diese dadurch verändert werden, dass der ACC-Hebel nach oben oder unten bewegt wird. Bewegung nach oben bedeutet einstellen einer höheren Wunschgeschwindigkeit, Bewegung nach unten einstellen einer niedrigeren Wunschgeschwindigkeit.



Abbildung 4: ACC-Hebel

Sämtliche Bedieninteraktionen mit dem ACC werden durch verschiedene optische Anzeigen im Kombidisplay rückgemeldet.

### 2.2.2 Aufbau Versuchsfahrzeug

Zu Projektstart wurden verschiedene Anforderungen an das Versuchsfahrzeug generiert. Starten, Beenden und Speichern der Versuchsdaten sollten ohne Eingriff des Probanden vonstatten gehen. Die Dauer des Versuchs pro Person war mit ca. einer Woche angesetzt. In dieser Zeit konnte kein Eingriff eines Versuchsleiters erfolgen,

da die Probanden freie Strecken- und Zeitwahl hatten. Darüber hinaus sollte das Fahrzeug wie ein normales Serienfahrzeug wirken, um den Versuchspersonen das Gefühl zu vermitteln, sie säßen in Ihrem eigenen Fahrzeug.

Als Versuchsfahrzeug diente wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben ein Audi A8, Baujahr 2003, mit Vollausrüstung. Die meisten Funktionen des Fahrzeuges sind über CAN- und MOST-Bus untereinander verbunden. Diese Bussysteme dienen der Datenübertragung und der Kommunikation zwischen den einzelnen Steuergeräten im Fahrzeug. Durch Abgreifen der Kommunikation zwischen den verschiedenen Steuergeräten durch einen Datenlogger können die meisten Bedienungen des Fahrers erfasst werden. In diesem Datenlogger werden auch die Daten anhand einer Zeitachse gespeichert. Die restlichen Funktionen, die nicht über das Bus-System laufen, wie bspw. die Ablagefächer, wurden einzeln verkabelt und an den Datenlogger separat angeschlossen. Alle Leitungen wurden so in die Verkleidung des Fahrzeuges eingepasst, dass für den Fahrer keine Kabel sichtbar werden. Die Datenaufzeichnung beginnt beim Aufsperrn des Fahrzeuges und endet 10 Minuten, nachdem das Fahrzeug verlassen wurde. Dieser Datenlogger kann entweder im Handschuhkasten oder im Radkasten verstaut werden, so dass die Fahrer bzw. Beifahrer nicht mit den Maßnahmen der Datenerfassung in Kontakt kommen.

Es ist hierbei von großer Wichtigkeit, dass die Datenaufnahme ohne Eingriff oder Beeinträchtigung des Fahrers abläuft, damit sich der Fahrer soweit möglich nicht beobachtet fühlt. Von den 34 untersuchten Probanden gaben nur zwei Versuchspersonen an, dass sie sich wie in einem Versuchsträger gefühlt hatten. Für beide Probanden war aber nicht die Erfassung der Nutzerdaten das Problem, sondern einfach, dass das Fahrzeug nicht mehr so neu war wie ihr eigenes. Es fühlte sich demnach kein Proband überwacht.

## **2.3 Probandenauswahl und Versuchsdesign**

### **2.3.1 Versuchsdesign**

Die Zielsetzung der Studie war die Untersuchung der Alltagsnutzung von gewohnten Fahrern. Daher war es von großer Bedeutung, nur Audi A8 Fahrer der gleichen Modellreihe, die mindestens seit 3 Wochen (Weinberger 2000) dieses Fahrzeug fahren, als Probanden zuzulassen, da keine Gewöhnungseffekte untersucht werden sollten. Aufgrund der Fragestellung wird auch deutlich, dass eine Feldstudie durchgeführt werden musste, da sonst die Alltagsnutzung nicht erfasst werden kann. Daher können die strengen Kriterien, die an ein Experiment bezüglich kontrollierter Variablen gestellt werden, hier nicht angewendet werden. Die Situationsvariablen können nicht im Vorhinein variiert werden. Es ist aber möglich, im Nachhinein verschiedene Faktoren den einzelnen Fahrten zuzuordnen und daraufhin Gruppen zu bilden. Dafür ist die externe Validität bezüglich Alltagsnutzung hoch. Der hier gewählte Ansatz wird mittlerweile von verschiedenen Forschungsgruppen angewandt (Neale, Klauer, Knipling, Dingus, Holbrook & Petersen, 2002, Tattersall & Renner, 2006).

Das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt auf der Häufigkeit der Nutzung der verschiedenen Funktionen. Diese Nutzungshäufigkeiten alleine können aber nur schwer interpretiert werden. Daher müssen noch weitere Informationen über die Versuchspersonen gewonnen werden. Da aber die Probanden, die für diese Untersuchung in Frage kommen, tendenziell eher wenig Zeit haben, an einer solchen Unter-

suchung teilzunehmen, musste ein effizientes Verhältnis zwischen Zeitaufwand für die Probanden und sinnvoller Befragung gefunden werden.

Aus diesem Grund wurden zwei verschiedene Befragungsinstrumente entwickelt. Zuerst wurde ein Fragebogen erstellt, der Nutzergewohnheiten, Einstellungen zum Fahrzeug, Fragen zur Person und ähnliches erfasst. Die Beantwortungszeit der Fragen beträgt für den Probanden ca. 45 Minuten, die Beantwortung der Fragen erfolgt selbständig durch die Versuchsperson. Im Anschluss an den einwöchigen Versuchszeitraum erfolgt ein Interview, das der Analyse der Versuchswoche dient und bestimmte Funktionen des Fahrzeuges und deren Nutzung noch genauer beleuchtet. Die Analyse der Versuchswoche befasst sich vor allem mit der Typikalität, Witterungsbedingungen und Besonderheiten der Versuchswoche. Genauer untersucht wird die Nutzung des Adaptive Cruise Control und des Infotainments, genauso wie Ein- und Ausstiegsverhalten der Probanden. Darüber hinaus besteht für die Probanden noch die Möglichkeit, freie Kritik zu Bedienelementen und Anzeigen im Fahrzeug und mögliche Verbesserungsvorschläge äußern.

Da nur ein Fahrzeug zur Verfügung stand, und eine effektive Nutzung des Fahrzeuges gewährleistet sein sollte, wurde ein Versuchszeitraum von sechs Tagen inklusive einem vollem Wochenende festgelegt. Abbildung 5 skizziert den Ablauf der Versuchsfahrten.

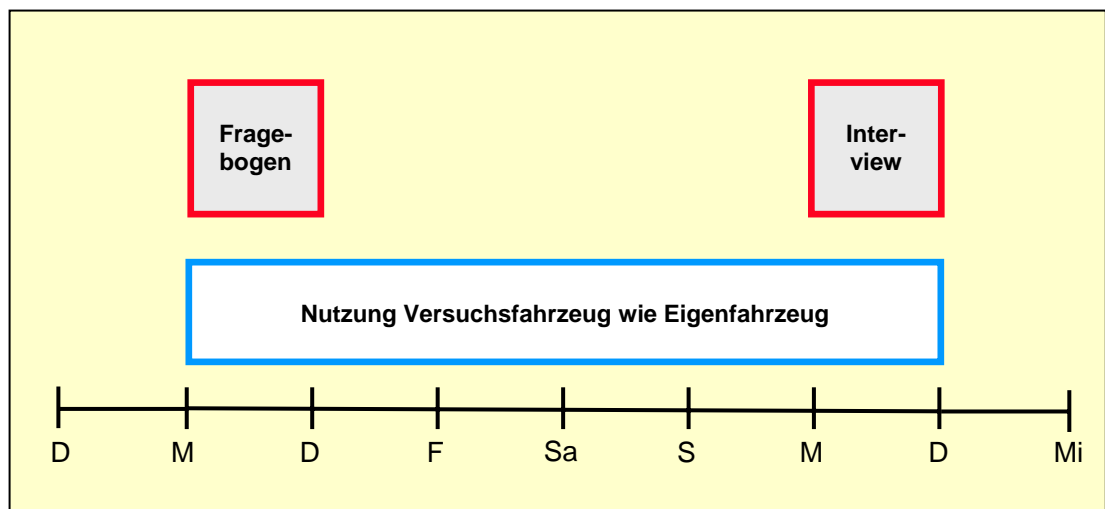


Abbildung 5: Schema Versuchsablauf

### 2.3.2 Stichprobe

Die Stichprobe betrug 34 Probanden, darunter drei weibliche und 31 männliche Versuchspersonen. Diese Verteilung entspricht ungefähr dem Käuferprofil des Audi A8. Die Ergebnisse können daher im ersten Schritt nur auf diese Gruppe übertragen werden. Die Altersverteilung ist unter Abbildung 5 angegeben. Wie aus dem Käuferprofil zu erwarten war, sind vor allem ältere Personen vertreten.

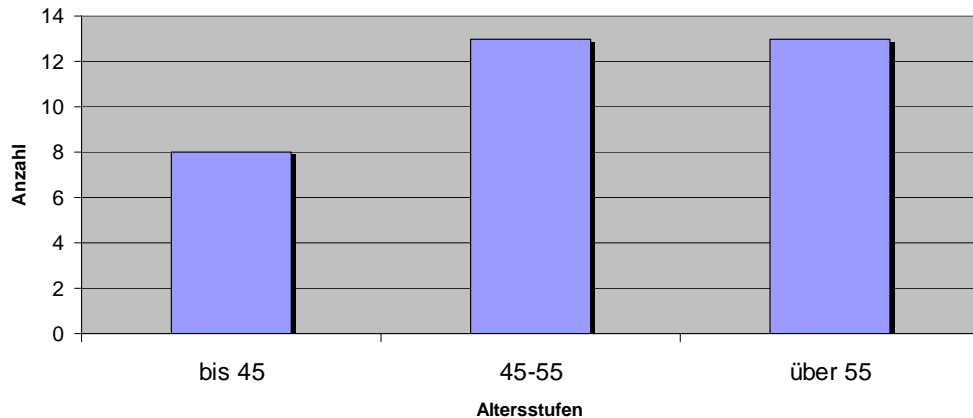


Abbildung 5: Altersverteilung Stichprobe  $n=34$

Insgesamt wurden in der Untersuchung ca. 22.000 km in ca. 500 h gefahren. Es wurden 250 verschiedene Bedienmöglichkeiten des Fahrers erfasst und ausgewertet. Der Versuchszeitraum begann im Juli 2005 und endete im Mai 2006, daher konnten verschiedene Jahreszeiten erfasst werden. Dies ist vor allem wegen der Betätigung der Klimabedienung von großer Bedeutung. In den meisten Fahrten war der Fahrer die einzige Person im Fahrzeug. Untersuchungsstandorte waren München, Ingolstadt, Mannheim und Düsseldorf.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Auswertevorgehen

Wie bereits beschrieben, werden 250 verschiedene Funktionen des Fahrerarbeitsplatzes aufgenommen. Daher kann im Folgenden nur eine kleine Auswahl an Ergebnissen angeführt werden. Hierbei wird vor allem auf Funktionen eingegangen, die erhöhte Anforderungen an den Fahrzeugführer als Bediener stellen, zum Beispiel Adaptive Cruise Control und Entertainmentfunktionen.

Die Auswertung stellt das größte Problem bei einem derartigen Versuchsaufbau dar, da keine kontrollierten Bedingungen vorhanden sind, an denen sich der Auswerter orientieren kann. Zudem standen in dieser Untersuchung 940 Fahrten zur Auswertung, die unterschiedliche Charakteristika aufwiesen. Daher war es zuerst notwendig, die Fahrten auf mögliche Ausfälle von Datenaufnahmen zu untersuchen. Nach dieser Überprüfung wurden die Daten in eine Datenbank eingegeben. In dem dafür entwickelten Datenbanksystem konnten dann bestimmte Eigenschaften sowohl zu dem Fahrer als auch der Fahrt zugeordnet werden. Anhand dieser Eigenschaften können dann Nutzergruppen zusammengestellt werden. Mögliche Eigenschaften sind beispielsweise Lang- bzw. Kurzstrecke, ACC-Experte und ACC-Novize.

Im zweiten Schritt wurden Auswertelgorithmen entwickelt, die es ermöglichen, verschiedene Bedienungen auszuwerten. Diese Algorithmen können dann auf spezielle Nutzergruppen, die anhand der Datenbank generiert werden, angewendet werden.



Problem hierbei ist immer die Bezugsnorm, da keine kontrollierten Variablen vorhanden sind. Die Wahl der Bezugsnorm sollte sich an den spezifischen Fragestellungen der Bedieninteraktion orientieren. Beispiele für mögliche Bezugsnormen sind:

- Gefahrene Kilometer gesamt/ pro Person
- Gefahrene Zeit gesamt/ pro Person
- Zeit/ Kilometer bezogen auf Geschwindigkeitsbereiche
- Zeit/ Kilometer bezogen auf Straßenarten
- Zeitbereich Ein- und Ausstieg
- Sommer/ Winter bzw. Außentemperatur

Darüber hinaus ist auch der Übergang zwischen den einzelnen Bereichen z.B. bei Geschwindigkeitsbereichen nicht einfach zu handhaben. Hierbei sind ein Zeitintervall und eine Zuordnungsbestimmung festzulegen.

### **3.2 Adaptive Cruise Control**

Das Adaptive Cruise Control (ACC) ist eines der ersten Fahrerassistenzsysteme der neuen Generation, das serienmäßig verbaut wird. In Kapitel 2.2.1 ist die Funktionsweise genauer erläutert. Abbildung 6 zeigt die Häufigkeit der Funktionsbetätigung bezüglich der Aktivierung der ACC Funktionen bezogen auf 100 km.

Es wird deutlich, dass aus Nutzersicht auf die Stellung Off verzichtet werden kann. Die Probanden nutzen die Möglichkeit, das gesamte ACC System auszuschalten, sehr selten. Die kurzfristige Deaktivierungsfunktion am Hebel (cancel) oder die Betätigung der Bremse (beides mit der gleichen Wirkung) reicht den Probanden meist aus. Aus Sicht der Produkthaftung ist aber eine gerastete Aus-Funktion des Hebels unerlässlich. Mit der Set-Taste kann das System aktiviert werden. Diese Taste kann aber auch verwendet werden, um die Geschwindigkeitseinstellung am Hebel zu umgehen, indem durch das Betätigen des Gaspedals die Geschwindigkeit des Fahrzeuges auf Wunsch des Fahrers übertreten wird. Dann kann die Set-Taste gedrückt werden. Das gleiche Prozedere kann selbstverständlich auch mit Abbremsen und dann erneuten Setzen der Set-Funktion erfolgen. So kann schnell eine neue Einstellung der Wunschgeschwindigkeit erfolgen, ohne dies am ACC-Hebel einstellen zu müssen.

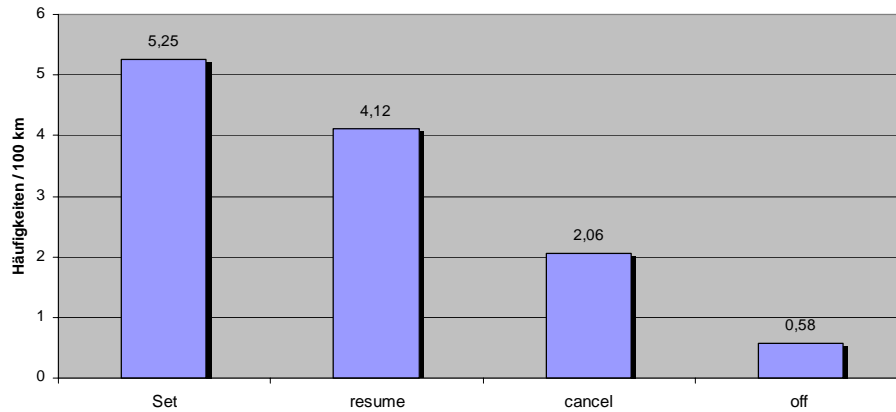


Abbildung 6: Betätigungen ACC Hebel bezogen auf 100 km

Die Auswertung des ACC wurde anschließend unterteilt in ACC Novizen und ACC Experten. Da die Einbaurrate ACC im Audi A8 nicht besonders hoch ist, konnte bezüglich des Merkmals ACC Einbau keine reine Stichprobe gefunden werden.

Bei der Einstellung der Zeitlücken, wie in Abbildung 7 gezeigt, wird deutlich, dass sowohl geübte als auch ungeübte ACC Fahrer vor allem die kleinste Zeitlücke (Distanz 1, Abstand 1s) nutzen, dicht gefolgt von der gesetzlich empfohlenen Zeitlücke (Distanz 3, Abstand 1,8s). Hierbei ist die Betätigung pro Person in der Versuchswoche angetragen.

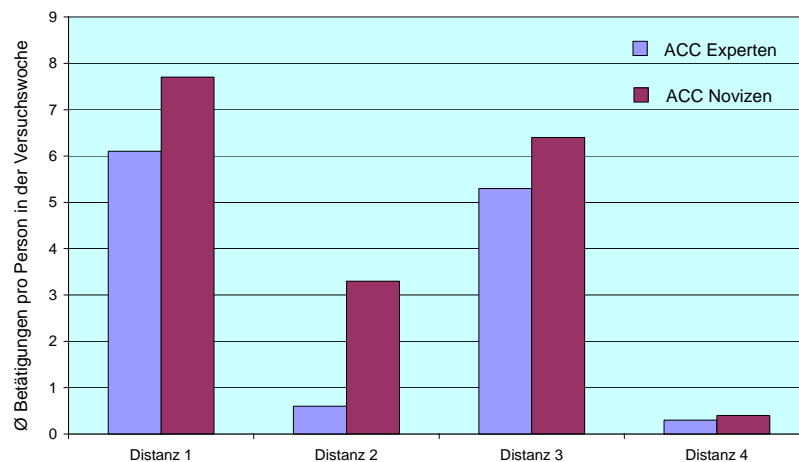


Abbildung 7: Zeitlückennutzung ACC Experten vs. ACC Novizen

Die Auswertung der Fragebogen und der Interviewdaten erbrachte, dass ACC Novizen das System vor allem auf Autobahnstrecken nutzen. ACC Experten hingegen nutzen das System zum einen zusätzlich auch in der Stadt und auf Landstraßen, oder sie sind mit der derzeitigen Funktionsweise nicht zufrieden und nutzen daher das System insgesamt nur noch selten.

Hauptkritikpunkte sind zum einen, dass das ACC nur in dem Bereich von 30 bis 200 km/h funktioniert. Mittlerweile arbeiten derartige Systeme auch ab 0 km/h, die obere Systemgrenze von 200 km/h besteht aber weiterhin (ACC Stopp and Go). Zum anderen wird moniert, dass oftmals Fahrzeuge in Kurven als Hindernis detektiert werden, die sich in der Nebenspur aufhalten, und somit kein echtes Hindernis darstellen.

### 3.3 Infotainment

Die Nutzung des Multi-Media-Interface (MMI) des Audi A8 ist von besonderer Bedeutung. Hier sind viele verschiedene Funktionen mit der gleichen Gewichtung integriert. Es ist zu überlegen, ob alle Bedieninteraktionen für den Fahrer die gleiche Priorität haben. In Abbildung 8 ist ersichtlich, dass vor allem Navigation, Radio und CD während der Fahrt genutzt werden.

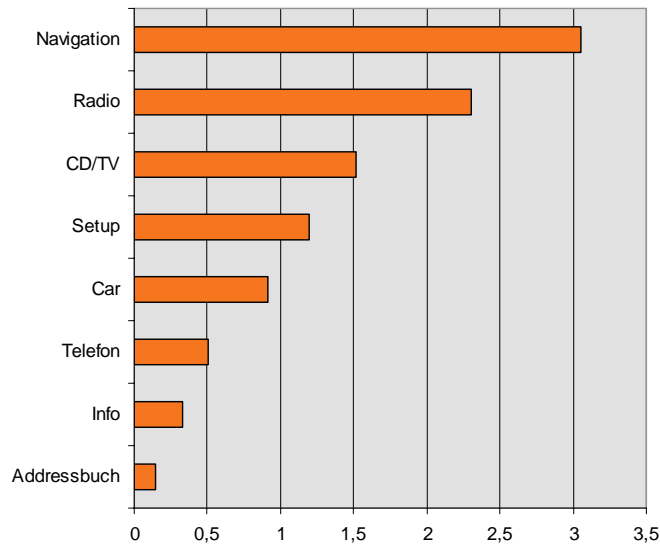


Abbildung 8: Nutzung der verschiedenen Infotainmentfunktionen im MMI bezogen auf 100 km

Die Interviewauswertungen bezüglich des Infotainmentangebots des Audi A8 zeigen einen deutlichen Bedarf an mehr Funktionalitäten in Richtung Kommunikation auf. Es werden auf jeden Fall Zugang zum Internet, verschiedene Computerfunktionen und ein I-Pod Anschluss gewünscht. Vor allem die Möglichkeit eines einfachen und schnellen Adressen- und Datenabgleichs von Outlook, Handy und PDA wird gefordert. Zudem stellte sich heraus, dass ein Großteil der Probanden durchaus Hemmungen hat, verschiedene Auswahlmöglichkeiten des MMI während der Fahrt zu bedienen, aber verschiedene Sonderfälle wie Änderung des Ziels doch zu einer Nutzung bei hohen Geschwindigkeiten führen. Zum einen zeigt dies, dass sich die Fahrer durchaus bewusst sind, dass Bedienungen während hoher Geschwindigkeiten Risiken aufweisen, dieses Bewusstsein aber durch äußere Einflüsse leicht in den Hintergrund gedrängt werden kann.

### 3.4 Nutzung Ablagemöglichkeiten

Die Auswertung der Ablagemöglichkeiten im Versuchsfahrzeug ergab, dass vor allem die kleineren Ablageflächen nicht genutzt werden, da ihre Nutzungsmöglichkeit als zu speziell empfunden wird.

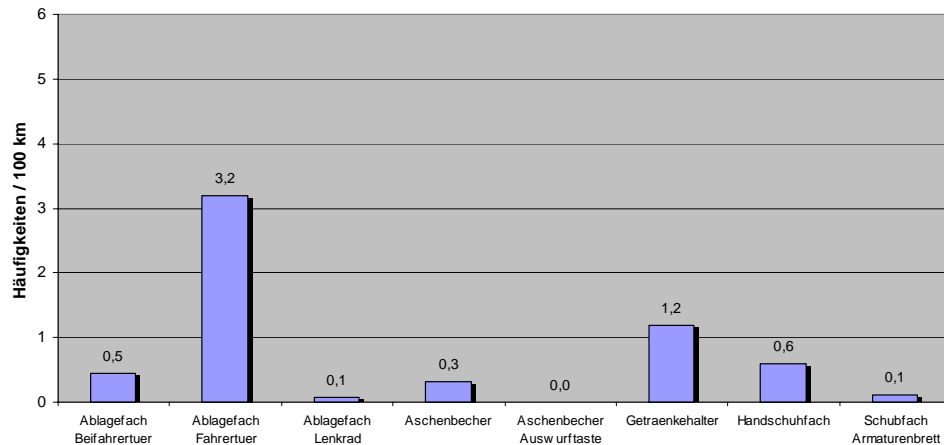


Abbildung 9: Betätigung der Klappen der Ablagefächer bezogen auf 100 km

Darüber hinaus ist festzuhalten, dass der Getränkehalter in der Mittelkonsole in der in Abbildung 9 angeführten Statistik nicht oft benutzt erscheint. Dies täuscht aber. Im Gegensatz zu den anderen hier aufgeführten Ablagefächern wird der Getränkehalter nicht immer wieder auf- und zugeklappt, sondern wird von den meisten Probanden einfach offen gelassen und als Ablagefach für Handy, Scheckkarten und Schlüssel genutzt, da das Fach am besten erreichbar ist.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier gezeigten Ergebnisse geben einen ersten Eindruck über die vielfältigen Auswerte- und Analysemöglichkeiten der Daten. Darüber hinaus wird auch ersichtlich, wie wichtig die Fragebogen- und Interviewdaten zur Interpretation der verschiedenen Ergebnisse sind. Allein die Häufigkeitsdaten könnten oftmals zu falschen Auslegungen führen, siehe das Beispiel Nutzung Getränkehalter.

Bei der Auswertung der Daten wurde auch deutlich, dass in bestimmten Situationen Videodaten der Umgebung hilfreich wären, zum Beispiel bei starken Brems- oder Beschleunigungsvorgängen. Diese wurden bei diesem Versuchsfahrzeug nicht eingebaut, um eine möglichst natürliche Umgebung für die Probanden ohne den Eindruck der Überwachung zu schaffen.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen auch, dass die Studie zu vielfältigen Ergebnissen führt, die für Entwicklungsprozesse gut genutzt werden können, beispielsweise in Bezug auf das Entertainmentangebot. Die Forderung, Alltagsnutzung von Bedienhäufigkeiten zu untersuchen, konnte mit dem Versuchsaufbau erfüllt werden.

Es ist aber auch zu bedenken, dass die Studie mit einem sehr hohen Aufwand sowohl in der Vorbereitungs- und Akquisephase als auch in der Auswertephase aufweist. Durch die Dauer der einzelnen Versuchswochen ist auch eine lange Laufzeit der Versuchsreihe zu bedenken.

Daher ist es sehr sinnvoll, solch geartete Real-Life Versuche nur dann durchzuführen, wenn tatsächlich die Alltagsnutzung oder ähnliches untersucht werden soll. Zur Validierung der Bedienbarkeit oder Ablenkbarkeit verschiedener Systeme im Entwicklungsprozess sind beispielsweise Untersuchungen in Ergonomiemodellen, Simulatorversuche oder kurze Testfahrten mit bestimmten Aufgaben sinnvoller.

## 5. Literatur

European Commission, Recommendations from the eSafety HMI working group, Final Report, [http://europa.eu.int/information\\_society/activities/esafety/doc/esafety\\_forum/hmi/wg\\_hmi\\_recom2005\\_upd04\\_05\\_web.pdf](http://europa.eu.int/information_society/activities/esafety/doc/esafety_forum/hmi/wg_hmi_recom2005_upd04_05_web.pdf)

Neale, V.L., Klauer, S.G., Knipling, R.R., Dingus, T.A., Holbrook, G.T., Petersen, A. (2002). *100 car naturalistic driving study, Phase I - Experimental Design*; Report Nr. DOT HS 809 536; Virginia: Virginia Tech Transportation Institute. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/100CarPhase1Report.pdf>

Tattersal, S. und Renner, G. (2006). *Untersuchungen von Kundenanforderungen an aktive Sicherheit und an Fahrerassistenzsysteme durch den „Real-life Analysis“ Ansatz*, Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht 1960, Düsseldorf: VDI-Verlag.

Weinberger, M. (2000). *Der Einfluss von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrverhalten*. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München.

# Multitasking-Strategien in der Mensch-Maschine-Interaktion

JUERGEN KIEFER<sup>1,2</sup>, MICHAEL SCHULZ<sup>1</sup>, DIRK SCHULZE-KISSING<sup>3</sup> & LEON URBAS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS)

<sup>2</sup>TU Berlin, Graduiertenkolleg prometei (GRK 1013)

<sup>3</sup>TU Berlin, Abteilung Arbeits- und Organisationspsychologie

<sup>4</sup>TU Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Dresden

*Schlüsselwörter: Multitasking, Visuelle Ablenkung, Kognitive Modellierung*

## Zusammenfassung

In alltäglichen Situationen befinden sich Menschen häufig in Situationen, in denen mehrere Aufgaben scheinbar gleichzeitig bearbeitet werden. Obwohl sich viele psychologische Studien bereits mit Doppelaufgaben-Situationen beschäftigt haben (Pashler, 2000; Levy & Pashler, 2001; Pashler, 1994; Meyer & Kieras, 1997a, 1997b), existieren immer noch wenige systematischen Untersuchungen zu realitätsnahen Multitasking-Situationen (Salvucci & Taatgen, submitted; Taatgen, 2005). In vier vorgestellten Studien wird untersucht, welche kognitiven Strategien Menschen in Multitasking-Situationen verwenden und wie diese Strategien Menschen helfen, ihre kognitiven Ressourcen sinnvoll an die Umgebung anzupassen. Mit Hilfe der Methode der *Kognitiven Modellierung* werden die getroffenen Annahmen in einem kognitiven Modell formal abgebildet. Die Ergebnisse des Simulationsprozesses werden mit den Resultaten der empirischen Arbeiten verglichen. Abschließend werden die präsentierten Befunde kritisch diskutiert und ein Ausblick auf kommende Studien wird gegeben.

## 1. Ablenkung beim Fahren – Ein alltägliches Problem

Die fortschreitende technologische Entwicklung zu Beginn des 21. Jahrhundert tritt vor allem im Bereich der Fahrzeugindustrie immer deutlicher hervor. McCarley, Vais, Pringle, Kramer, Irwin, & Strayer (2004) beschreiben dieses Phänomen als „*burgeoning popularity of in-vehicle technology*“. Im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion spielt Multitasking eine zentrale Rolle. Beim Autofahren dienen sog. *In-Vehicle-Infotainment-Systems (IVIS)*, die während der Fahrt bedient werden, als Unterstützung. Telefonieren im Auto ist ebenfalls eine Tätigkeit, die schon heute nicht mehr wegzudenken ist. Allerdings benötigt ein IVIS auch bei noch so benutzer-

freundlichen Gestaltung visuelle Aufmerksamkeit. Der Fahrer ist somit abgelenkt (Strayer & Johnston, 2001; McFarlane, 2002) und muss sich nach der Ablenkung erneut der Fahraufgabe zuwenden (Salvucci, 2006). Die vorliegenden Studien stellen eine Arbeit vor, die sich mit den unter Multitasking angewendeten kognitiven Strategien beschäftigt. Aus den theoretischen Erkenntnissen können Empfehlungen abgeleitet werden, wie ein System zu gestalten ist, so dass die Ablenkung vom Fahren minimiert wird.

## **2. Theoretische Aspekte**

Beschäftigt man sich mit dem Bereich „Multitasking“, so kann man diesen nicht losgelöst von weiteren theoretischen Bereichen betrachten. Daher werden im Folgenden *ressourcenspezifische* Modelle besprochen und schließlich eine *Klassifikation von Doppelaufgaben-Szenarien* vorgestellt.

### **2.1 Ressourcenspezifische Modelle**

#### **2.1.1 Modell einer spezifischen Ressource (single resource model)**

Kahneman (1992) geht von einer einzigen, zentralen Ressource aus. Diese bezeichnet er als „General-Purpose-Limited-Capacity Central Processor“ (GPLCP).

Laut Norman & Bobrow (1975) ist die Leistung in einer Einzelaufgabe umso schlechter, je mehr Aufgaben parallel bearbeitet werden. Anzahl an Aufgaben und entsprechende Leistung stehen somit also proportional zueinander. Bezeichnet man die verfügbare Energiemenge eines Menschen als begrenzte Ressource  $R$  (Norman & Bobrow, 1975), so steht diese in direktem Zusammenhang mit der Leistung  $P$ . Wird nun bei Bearbeitung einer Doppelaufgabe die Einheitsressource überschritten, so sinkt  $R$  und folglich auch  $P$ : die Leistung sinkt also deutlich.

#### **2.1.2 Modell multipler Ressourcen**

Im Gegensatz zu Theorien zentraler Ressourcen beziehen sich *Modelle multipler Ressourcen* auf verschiedene, jeweils spezifische Verarbeitungsmodulare. Zwar wird ebenfalls von einer Kapazitätsbegrenzung ausgegangen. Jedoch besteht die Gesamtkapazität aus einer Summe von *Einzelkapazitäten*, die voneinander unabhängig sind. Wickens (2002; 2004) bezieht sich in seinem Modell multipler Ressourcen hinsichtlich der involvierten Verarbeitungsressourcen auf drei Dimensionen: (1) *Verarbeitungsstufen* (perzeptiv, zentral-kognitiv, reaktiv), (2) *Wahrnehmungsmodalität* (auditiv, visuell), sowie (3) *Repräsentationsformat* (verbal, räumlich). Beanspruchen zwei Aufgaben eine gemeinsame Ressource, stören sie sich. Werden unterschiedliche Ressourcen verwendet, so können mehrere Aufgaben parallel ohne Verluste durchgeführt werden.

#### **2.1.3 Bezug zu den durchgeführten Studien**

Für die durchgeführten Multitasking-Studien steht das Modell nach Wickens (2004) Pate. Es wird davon ausgegangen, dass Wahrnehmung (perzeptiv) und Reaktionshandlung (reaktiv) sich nicht gegenseitig stören. Diese Tatsache spielt vor allem eine Rolle bei Aufgaben, die aufgrund ihrer Konfiguration sozusagen „zerlegt“ (dekomponiert) werden können. Für den bei den Studien eingesetzten Aufmerksamkeitstest ist dieser Aspekt von zentraler Bedeutung. Das Modell nach Wickens (2004) erlaubt weiterhin das parallele Ausführen von Aufgaben, die automatisch ablaufen, also kei-

ne bewusste Kontrolle erfordern. Dies kann z.B. durch Übung oder Training erreicht werden. Für das experimentell getestete Szenario sind solche Automatisierungsprozesse von zentraler Bedeutung, da sie weder kognitive Ressourcen benötigen noch visuelle Aufmerksamkeit erfordern.

## **2.2 Klassifikation von Doppelaufgaben**

Im vergangenen Jahrhundert wurden bereits mehrfach Versuche unternommen, Doppelaufgaben sinnvoll zu klassifizieren (Ovsiankina, 1928; Telford, 1931; Pashler, 1994). Rummel (1996) beispielsweise betont vor allem die Bedeutung der Nebenaufgabe (Sekundäraufgabe) und bezieht sich auf eine Kategorisierung derselben hinsichtlich (a) Art der Belastung (zentral vs. peripher), (b) Dauer der Belastung (kontinuierlich vs. diskontinuierlich) sowie (c) Lokation der Leistungsmessung (lokal vs. global). Diese Einteilung erweist sich als sinnvoll für die klassische experimentell-psychologische Vorgehensweise. Salvucci (2005) allerdings verweist auf die starke Vernachlässigung des Realitätsbezuges und betont vor allem die ökologische Validität. Nach Salvucci (2005) lassen sich dynamische Doppelaufgaben-Szenarien in vier Kategorien einteilen.

### **2.2.1 Modelle diskreter, aufeinander folgender Aufgaben**

Die erste Klasse an Doppelaufgaben bezeichnet Salvucci (2005) als *models of discrete successive tasks*: dazu zählt er Szenarien, wie sie im klassischen task switching Paradigma (Pashler, 2000) zu finden sind. Oftmals handelt es sich um einfache, im Labor stattfindenden Reaktionsaufgaben. Von Interesse sind dabei vor allem die entstehenden sog. „Wechselkosten“ (*switching costs*, siehe Rogers & Monsell, 1995).

### **2.2.2 Modelle diskreter, gleichzeitiger Aufgaben**

Als zweite Klasse werden *models of discrete concurrent tasks* erwähnt. Typische Vertreter dieser Art sind die bekannten PRP-Studien (*psychological refractory period*), wie sie von Meyer & Kieras (1997a, 1997b), Byrne & Anderson (2001) oder Levy & Pashler (2006) geschildert werden. Eine zweite Aufgabe beginnt mit einer leichten Verzögerung, nachdem eine erste Aufgabe noch nicht ganz abgeschlossen ist (*time delay*).

### **2.2.3 Modelle elementarer, kontinuierlicher Aufgaben**

*Models of elementary continuous tasks* stellen die dritte Kategorie dar. Dabei wird eine kontinuierliche Aufgabe (z.B. Tracking, zumeist als Hauptaufgabe bestimmt) mit gelegentlich kurzen, einfachen Reiz-Reaktionsaufgaben präsentiert.

### **2.2.4 Modelle zusammengesetzter, kontinuierlicher Aufgaben**

Die letzte der vier beschriebenen Klassen schliesslich stellen die *models of compound continuous tasks* dar. Es geht dabei um die Bearbeitung zweier gleichzeitig stattfindender Aufgaben, wobei mindestens eine einen „*ongoing continuous process*“ darstellt. Im Unterschied zu den in Abschnitt 2.2.3 vorgestellten Modellen erfordern hier notwendigerweise beiden involvierten Aufgaben eine kontinuierliche Bearbeitung, übliche Reiz-Reaktionsaufgaben (im psychologischen Kontext oftmals als diskrete Aufgaben bezeichnet) sind also nicht möglich. Dieses Modell wird im Rahmen der durchgeführten Studien verwendet, da es eine große Realitätsnähe zu der interessierenden Domäne (Autofahren und Bedienen) besitzt.



In der wissenschaftlichen Auseinandersetzung besteht nach wie vor Unstimmigkeit, ob „Multitasking“ wirklich möglich ist oder ob es lediglich das beschreibt, was Schumacher, Seymour, Glass, Fencsik, Lauber, Kieras & Meyer (2001) als „*virtually perfect-time sharing*“ bezeichnen (siehe hierzu auch Hazeltine, Teague & Ivry (2002) sowie Anderson, Taatgen & Byrne (2005)). Diese terminologische Unterscheidung ist für diese Arbeit nicht von Bedeutung, da der Fokus auf den kognitiven Multitasking-Strategien zur Minimierung der visuellen Ablenkung liegt.

### **3. Empirische Untersuchung**

In vier Studien wurde das Verhalten von Versuchspersonen in dynamischen Mehrfachaufgaben-Situationen systematisch untersucht. Unter Verwendung des Doppelaufgabenparadigma (Gopher, Armony & Greenspan, 2000) wurde eine hohe ökologische Validität angestrebt, ohne dabei die Kontrollierbarkeit außer Acht zu lassen.

#### **3.1 Studie I**

##### **3.1.1 Szenario**

Studie I und II fanden im Fahrsimulator an der TU Berlin statt. Nachdem die Teilnehmer mit dem Setting vertraut waren (Einführung, Erklärung, Trainingsfahrten), wurde die Fahrleistung ohne Zweitaufgabe (*Baseline*) erhoben. Dieses Maß ist notwendig, um Vergleichsprozesse mit dem Fahrverhalten unter Doppelaufgabenbelastung anzustellen. Im Anschluss wurde die verwendete Sekundäraufgabe (siehe Abschnitt 3.1.2 eingeführt und auch dort für alle Varianten eine *Baseline* erhoben. Im Anschluss erfolgte eine gleichzeitige Bearbeitung beider Aufgaben (Fahren + „Bedienen“). Es ist zu betonen, dass während des gesamten experimentellen Szenarios die Fahraufgabe mit *Priorität* behandelt werden sollte. Nach jeder Testphase (Einzel- wie auch Doppelaufgabe) füllten die Teilnehmer den NASA-TLX-Test (Hart, & Staveland, 1988) aus. Dieser misst die empfundene Beanspruchung (*workload*) für die jeweils bearbeiteten Aufgaben. Es wurde zwar die Fahrleistung in der Hauptaufgabe erhoben, allerdings wird in diesem Beitrag kein Zusammenhang zwischen Leistung in der Zweitaufgabe und Fahraufgabe hergestellt. Detaillierte Betrachtungen des Fahrverhaltens unter Multitasking sind an anderer Stelle zu finden (Schulz, Kiefer, Thüring & Urbas, submitted).



Abbildung 1: Doppelaufgaben-Szenario im Fahrsimulator (Studie I und II)

### 3.1.2 Sekundäraufgabe (D2-Drive)

Zur Erfassung der visuellen Ablenkung während des Fahrens wurde ein geeigneter Test gesucht. Dieser sollte sinnfrei, kontrollierbar, unterbrechbar und beobachtbar sein. In Anlehnung an den D2-Aufmerksamkeitstest (Brickenkamp, 2001) erstellte die Arbeitsgruppe MODYS eine In-Car-Version Urbas, Schulze-Kissing, Leuchter, Dzaak, Kiefer & Heinath, 2005). Der D2-Test ist ein ideales Instrument zur Erfassung der benötigten visuellen Ressourcen, da er die individuelle Aufmerksamkeit von Versuchspersonen erfasst. Drei Versionen des D2-Drive wurden erstellt (Abbildung 2): in einer ersten Version soll das Muster in der Mitte bearbeitet werden (Version A). In Version B wird die ganze Zeile (von der ersten bis zur fünften Stelle) bearbeitet. Version C ist schließlich noch um einen kognitiven Aspekt angereichert, da bei Bearbeitung der aktuellen Zeile zusätzlich erinnert werden muss, welche Zeile auf dem nächsten Bildschirm zu erledigen ist. Grundsätzlich bedeutet bei allen drei Versionen Musterbearbeitung das Abgeben eines Urteils, ob das angezeigte Muster den Buchstaben *d* sowie zwei Striche besitzt (siehe Abbildung 2). Während Version A lediglich die Bearbeitung auf einer fixen Stelle erfordert, sind die Versionen B und C durch eine Komponente bzgl. visueller Suche angereichert: Version B ähnelt dem Lesen einer Aufgabe und lässt sich unterbrechen und wiederaufnehmen. Version C ist zusätzlich durch eine Merkaufgabe (*memory task*) angereichert. B und C eröffnen zudem einen Spielraum und lassen sich soz. „auseinandernehmen“ (*decomposition*), wodurch einzelne Teile der jeweiligen Aufgabe wieder zusammen gesetzt werden. Es lässt sich vermuten, dass Version A wenig Raum für kognitive Strategien lässt, B und C hingegen bieten diese Möglichkeit und sind zudem eine Quelle für individuelle Unterschiede.

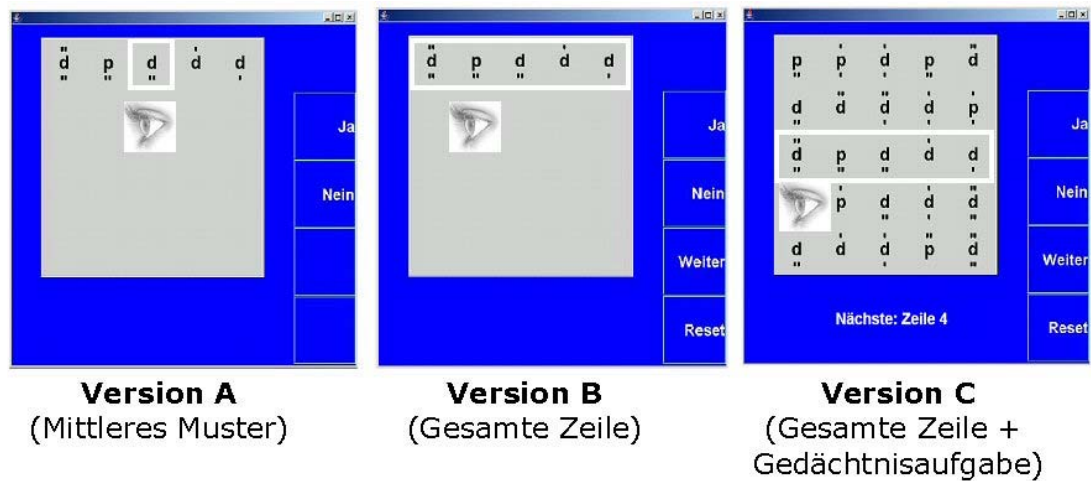
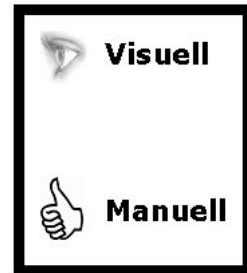
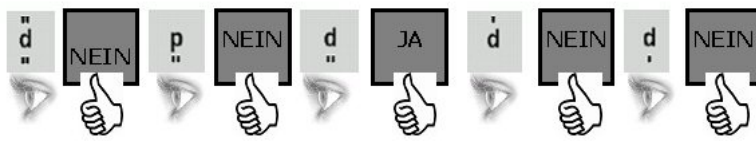


Abbildung 2: D2-Drive als Sekundäraufgabe zur Messung visueller Ablenkung

### 3.1.3 Leistungssteigerung durch kognitive Strategien

Erst seit kurzer Zeit interessieren sich Forschungsansätze für die Strategien, die Menschen unter Multitasking anwenden. In einem aktuellen Ansatz (Brumby & Salvucci, 2006) wird das strategische Vorgehen zwar berücksichtigt. Allerdings basiert der Algorithmus, der entscheidet, wann zu welcher Aufgabe gewechselt wird (Howes, Lewis, Vera, Richardson, 2005), auf Annahmen, die eher ein idealtypisches Modell und weniger das menschliche Vorgehen abbilden. In der von Howes et al. (2005) vorgeschlagenen Grammatik (*IRC*) ist es ausreichend, dass die notwendigen Bedingungen – dort als *Information* bezeichnet – erfüllt sind. Aspekte wie Müdigkeit oder „Fehlverhalten“ werden jedoch nicht berücksichtigt. Abbildung 3 skizziert die Entstehung einer kognitiven Strategie, die als „Blocking“ bezeichnet werden kann: die Basis-Strategie beschreibt das sukzessive Abarbeiten der einzelnen Teile der Aufgabe. Doch bereits zu Ende der Vortest-Phase (*single task D2-Drive*) „erkennen“ die Versuchspersonen, dass die Eingabe (manuell) nicht zwingend visuelle Aufmerksamkeit erfordert. Zudem können mehrere Muster nacheinander angeschaut und dann quasi als ein „Block“ eingegeben werden. Dieses Vorgehen erlaubt, die manuelle Eingabezeit (die keine visuelle Aufmerksamkeit erfordert) für Kontrollblicke auf die Strasse zu nutzen. Sowohl Blickdatenmessungen als auch nach der Studie durchgeführte Interviews mit den Teilnehmern unterstützen diese postulierten Strategien. An dieser Stelle soll betont werden, dass die angewandten Strategien nicht zwangsläufig bewusst ablaufen müssen, sondern Versuchspersonen dieses Vorgehen auch „intuitiv“ anwenden.

### Basis-Strategie bei Beginn der Multitasking-Aufgabe



### Lernen von Zusammenfassen mehrerer Elemente

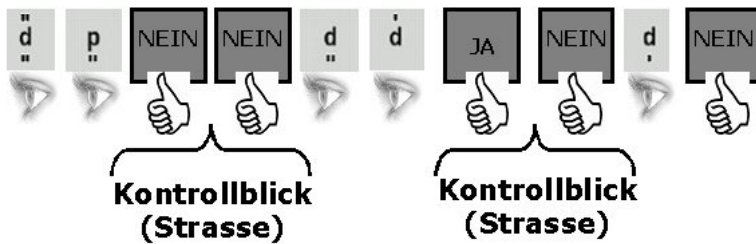


Abbildung 3: Kognitive Strategien unter Multitasking

In Bezug auf das Leistungsverhalten zeigt sich sogar eine Steigerung, was die relative Anzahl korrekt bearbeiteter Muster unter Doppelaufgaben-Situation angeht. Diese Ergebnisse werden bei Kiefer & Urbas (2006) sowie Kiefer (2006) näher erläutert. An dieser Stelle sei nur betont, dass bei Version B des D2-Drive die Leistungssteigerung am deutlichsten ist, was auf die Freiheitsgrade der Aufgabe zurückgeführt werden kann: in Einklang mit dem Wickens`schen Modell multipler Ressourcen können Perzeption, Kognition und Reaktion quasi entkoppelt werden und erlauben somit das Ausbilden der in Abbildung 3 verdeutlichten Strategien. Dies ist theoretisch auch für Version C vorstellbar, allerdings belegen die Interviewstudien, dass Version C anscheinend zu komplex und schwierig war. Ähnlich wie beim Lesen kann angenommen werden, dass die Herausbildung von kognitiven Strategien umso schneller (leichter) stattfindet, je weniger visuelle Orientierung notwendig ist. Allerdings stehen visuelle Suchstrategien nicht im Fokus dieses Beitrages.

## 3.2 Studie II:

Die zweite Studie dient einerseits der Überprüfung hinsichtlich der Stabilität der Ergebnisse aus Studie I. Zusätzlich wird die Komplexität sowohl in der Primär- als auch in der Sekundäraufgabe variiert. Bei der Fahraufgabe galt das Interesse dem zweifach-gestuftem Faktor mit den Ausprägungen „Kurve“ bzw. „Gerade“. Im D2-Drive wurde die Anzahl der angezeigten Muster variiert (5 vs. 9). Zudem wurde der „Running Memory Span“ – Test (Röttger & Stelling, 2004) erhoben, um einen Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtniskapazität und Leistung im D2-Drive zu untersuchen. Studie II zeigt vergleichbare Ergebnisse wie Studie I (siehe Abbildung 4). Auch hier nimmt vor allem die Leistung in Version B zu. Die Ergebnisse im Nachtest (Posttest) in Verbindung mit den Aussagen aus den strukturierten Interviews legen zudem nahe, dass die unter Multitasking gebildeten kognitiven Strategien auch im Nachtest angewendet werden. Die Tatsache, dass unter Multitasking dennoch die (relative) Leistung im D2-Drive in Version B am höchsten ist, ist weiterhin zurückzuführen auf den empfundenen Zeitdruck sowie die Wirkung von Übungseffekten. Im Nachtest lässt sich bereits Ermüdung vermuten (man beachte: das Experiment dauert eine volle Stunde!). Die Anzahl der Muster innerhalb einer Reihe

(5 vs. 9) hat keinen Einfluss, ebenso existiert kein Zusammenhang zwischen Leistung im Versuch (Einzel- wie auch Doppelaufgabe) und Arbeitsgedächtnisspanne. Sowohl Studie I als auch Studie II liefern Befunde, die deutlich für die Ausbildung der in 3.1.3 beschriebenen kognitiven Strategien sprechen. Aus Gründen der formalen Überprüfbarkeit wurde die Methode der Kognitiven Modellierung herangezogen.

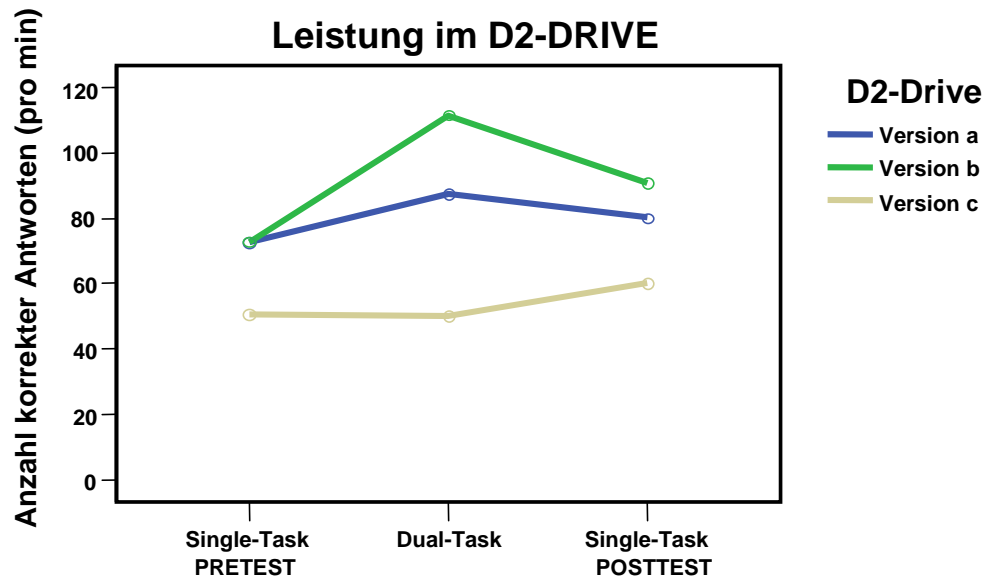


Abbildung 4: Ergebnisse beim D2-Drive in Studie II

#### 4. Kognitive Modellierung

Nach Tack (1995) bedeutet Kognitive Modellierung „...für ausgewählte kognitive Leistungen Symbolstrukturen (für Daten und Regeln) anzugeben und zu zeigen, dass mit eben diesen Daten und Regeln die zu erklärende kognitive Leistung erbracht werden kann“ (Tack, 1995, S. 117). Das Ziel einer kognitiven Architektur ist es, die verschiedenen Ergebnisse der kognitiven Psychologie in einem umfassenden Computermodell zusammenzufassen. Dabei müssen die Ergebnisse jedoch in einer so weit formalisierten Form vorliegen, dass sie Grundlage eines Computerprogramms sein können. Durch Abbilden von kognitiven Prozessen unter Verwendung der Methode „Kognitive Modellierung“ kann menschliches Verhalten durch ein kognitives Modell vorhergesagt werden. Die innerhalb dieser Arbeit benutzte Architektur ist ACT-R (Anderson, Bothell, Byrne, Douglass, Lebiere & Qin., 2004).

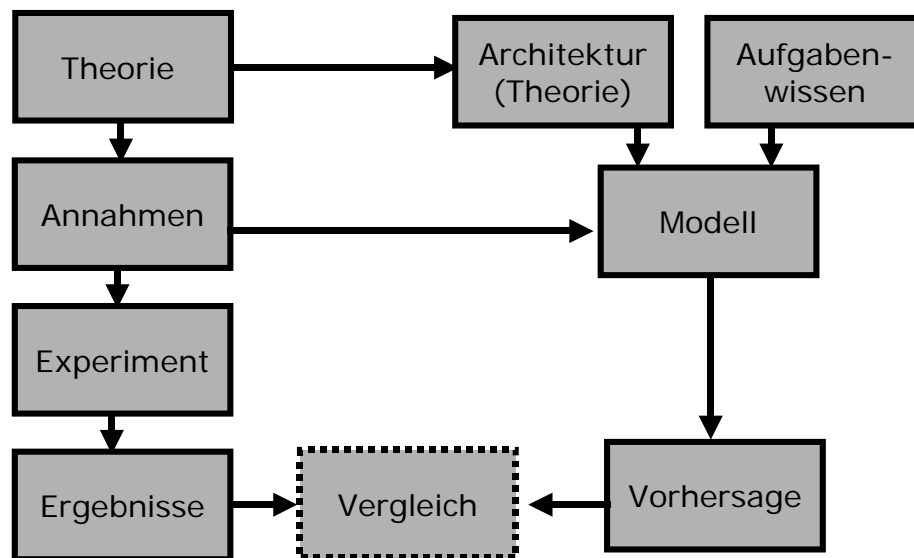


Abbildung 5: Vorgehen bei der Methode der Kognitiven Modellierung

In Abbildung 5 ist das Vorgehen zusammenfassend dargestellt (siehe auch Taatgen, 1999; 2005): auf Basis kognitionspsychologischer *Theorien* (Aufmerksamkeit, Multitasking, Ressourcenmodell) wurden *Annahmen* (Hypothesen) abgeleitet, die in einer empirischen Untersuchung (*Experiment*) getestet wurden. Das Experiment liefert *Ergebnisse*, die unter psychologischen Gesichtspunkten analysiert und interpretiert werden. Die theoretischen Annahmen der kognitionspsychologischen Forschung stellen gleichzeitig die Grundlage für die kognitive Architektur dar. Zusammen mit *Wissen* hinsichtlich der zu bearbeitenden *Aufgaben* (oftmals auch als *task knowledge* bezeichnet) lässt sich ein (kognitives) *Modell* erstellen, welches (als Simulation menschlichen Verhaltens) Daten erzeugt (in der Regel handelt es sich dabei um Reaktionszeiten und Fehlerraten). Diese *Vorhersage* kann mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchung *verglichen* werden. Der Grad an Übereinstimmung ergibt die Güte des postulierten Modells.

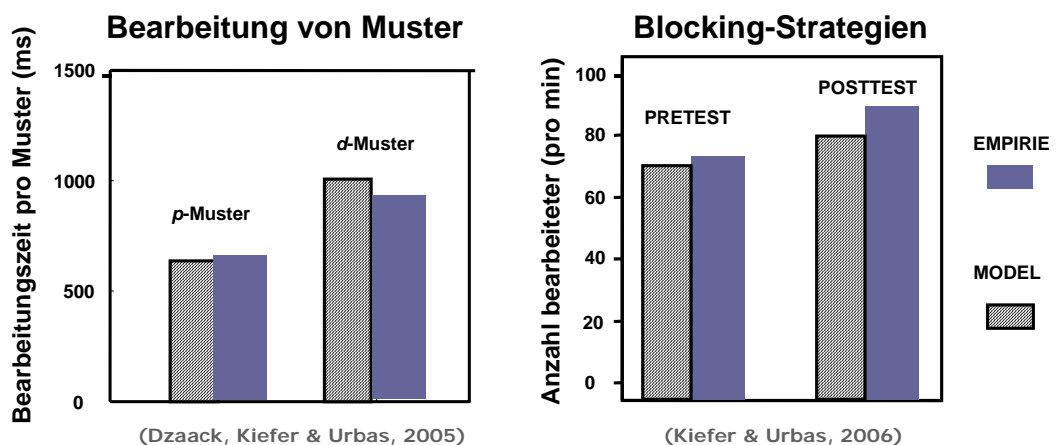


Abbildung 6: Vergleich Empirie vs. Kognitives Modell

Abbildung 6 zeigt das Ergebnis des Vergleichsprozesses: sowohl für *Mikrostrategien* (rechte Seite von Abbildung 6: Bearbeitung von Muster) als auch für die beschriebenen *Makrostrategien* (rechte Seite von Abbildung 6: Basis-Strategien im Pretest, Blocking-Strategien im Posttest) liefern die kognitiven Modelle zufrieden stellende



Approximationen. Die Bearbeitung der Muster wird als ablaufender Prozess auf Mikroebene angesehen, die entsprechenden ACT-R-Modelle sind somit Beschreibung auf atomarer Ebene, man könnte es in etwa mit dem Lesen eines Wortes vergleichen. Ergebnisse des Vergleiches hinsichtlich der Blocking-Strategien sind rechts abgebildet: sowohl für das Verhalten im Vortest als auch im Nachtest liefern die ACT-R-Modelle sehr nahe an der Empirie orientierte Ergebnisse. Anzumerken bleibt, dass ein Multitasking-ACT-R-Modell (welches zusätzlich die Hauptaufgabe integriert) als *Work-in-Progress* zu verstehen ist. Erste Vorschläge zu einem solchen Multitasking-Modell sind u.a. bei Salvucci (2005) zu finden.

## 5. Weitere Studien

### 5.1 Studie III: Anreicherung an Komplexität beim Fahren

In Bezug auf die beiden ersten Studien kann angemerkt werden, dass das Fahren eine *einfache Tracking-Aufgabe* ist: es gilt einzig und allein, die Spur zu halten. Es stellt sich daher die Frage, ob auch bei einer kognitiv anspruchsvolleren Hauptaufgabe entsprechende Multitasking-Strategien aufgezeigt werden können. Zu diesem Zwecke wurde die „*Lane Change Task*“ (Mattes, 2003), im Folgenden mit *LCT* bezeichnet, eingesetzt (Abbildung 7). Ziel bei dieser standardisierten Aufgabe ist es, entsprechend den angezeigten Schildern die Spur zu halten. Es wird also ein Schild *wahrgenommen* (1), daraufhin erfolgt eine *Reaktion* (2), das *Spurwechselmanöver* setzt ein (3), bis schliesslich nach erfolgreichem Wechsel eine *Spurhaltung* erforderlich ist (4). Diese Anreicherung an Komplexität der Hauptaufgabe stellt in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung dar: zum einen muss ein Reiz (das Schild) wahrgenommen (perzeptives Element) und verstanden (zentral-kognitiver Aspekt) werden. Nach erfolgreicher Verarbeitung muss die Spur gewechselt werden, d.h. es ist erneut visuelle Aufmerksamkeit (und implizit auch visuelle Suche) erforderlich.



Abbildung 7: Lane Change Task (LCT, Mattes, 2003) als Primäraufgabe

Neben der Anreicherung durch eine komplexere Hauptaufgabe wurden vier Varianten des D2-Drive (alle basierend auf der in Studie I und II angewandten Version B, siehe Tab. 1) eingesetzt.

Tabelle 1: Vier Varianten des D2-Drive bei Studie III

Variante	Beschreibung
<i>D2-Drive-BI</i>	Ursprüngliche Version des D2-Drive-B. Abarbeiten einer Zeile von Anfang bis Ende. Danach erscheint eine neue Zeile.
<i>D2-Drive-BII</i>	Wie D2-Drive-BI. Allerdings ändert sich nach jedem einzelnen beantworteten Muster die Zeile. Es muss nacheinander jede Stelle (von 1 bis 5) bearbeitet werden.
<i>D2-Drive-BIII</i>	Wie D2-Drive-BI. Zusätzlich gibt eine visuelle Unterstützung in Form eines Balkens an, welches Muster gerade zu bearbeiten ist.
<i>D2-Drive-BIV</i>	Wie D2-Drive-BIII, allerdings mit Änderung wie in D2-Drive-BII.

Unter der Annahme, die Konfiguration der Nebenaufgabe beeinflusse die Bearbeitungsweise und damit auch die kognitiven Strategien der Versuchspersonen, wurden die vier in Tab. 1 beschriebenen Versionen eingesetzt. *D2-Drive-BI* und *D2-Drive-BII* besitzen keine visuelle Unterstützung hinsichtlich der aktuellen Position, was im Vergleich zu *D2-Drive-BIII* und *D2-Drive-BIV* eine Erschwerung darstellt. *D2-Drive-BII* und *D2-Drive-BIV* hingegen verhindern durch die nach jedem bearbeiteten Muster wechselnde Zeile eine kognitive „Blocking“-Strategie. Die Ergebnisse der Studie III sind in voller Ausführung an anderer Stelle nachzulesen (Schulz et al., submitted).



## 5.2 Studie IV: Zeitdruck und Physiologie als weitere Aspekte

Im Rahmen einer bearbeiteten Diplomarbeit (Schulz, Kiefer, Urbas & Thüring, submitted) wurde der theoretische Rahmen der kognitiven Strategien ergänzt durch die Betrachtung situativer Umstände. Ein im Alltag ständig vorkommender Aspekt ist Zeitdruck. Um keinen Priorisierungseffekt und somit ein Artefakt zu produzieren, wurde via instructionem Zeitdruck derart instruiert, dass er sich auf beide Aufgaben (*LCT*, *D2-Drive*) gleichermaßen auswirken sollte. Zusätzlich wurde eine Leistungsmotivation geschaffen (Kinogutschein). Wie bereits in den ersten drei Studien wurden die Blickpfade der Versuchsteilnehmer aufgezeichnet. Mittels einer neu angewandten Blickbewegungsanlage (*iViewX*) konnten zudem die Blickpfade mit entsprechenden „*Areas of Interest*“ (*AOI*) auch noch nach Abschluss der Studie aus den Rohdaten erzeugt werden (Abbildung 8). Erwähnt werden soll an dieser Stelle auch, dass erstmalig *physiologische Daten* erfasst wurden (Herzrate, Herzratenvariabilität, Atemfrequenz). Anhand dieser Daten kann im günstigen Fall auf den Belastungszustand geschlossen werden. Von Interesse für spätere Analysen ist hier vor allem der Zusammenhang von Zeitdruck, Belastung und Anwendung der kognitiven Strategien.

## 5.3 Ausblick

Diesem postulierten Zusammenhang widmet sich die für Februar 2007 geplante Studie, die einerseits eine Replikation von Studie IV darstellt. Sollten sich die Ergebnisse replizieren lassen, so wird in einer das Arbeitspaket abschließenden Studie das Verhalten von Menschen beim Multitasking beim Gehen (Durchlaufen einer Fußgängerzone) untersucht.

# 6. Kritische Betrachtung der Arbeiten

## 6.1 Domänenspezifität

Ein Hauptkritikpunkt im Rahmen der durchgeführten Arbeit stellt die Übertragbarkeit der Befunde dar. Die durchgeführten Studien und folglich auch die Ergebnisse sind stets in einem kontext-spezifischen Umfeld zu betrachten. Es stellt sich die Frage, ob Menschen auch derartige kognitive Strategien außerhalb der Fahrsituation anwenden. Welches Verhalten wird beim Gehen durch eine Fußgängerzone und gleichzeitigem Telefonieren mit dem Mobiltelefon gezeigt? Die durchgeführten Studien zeigen, dass die postulierten Strategien in starkem Maße von der Fähigkeit motorischer Prozesse profitieren, einen Automatisierungsgrad zu erreichen. Mit anderen Worten: das Eingeben einer Antwort erfordert sehr schnell keine kognitiven Ressourcen mehr, bei gleich bleibender Eingabeposition wird sogar zunehmend visuelle Orientierung obsolet.

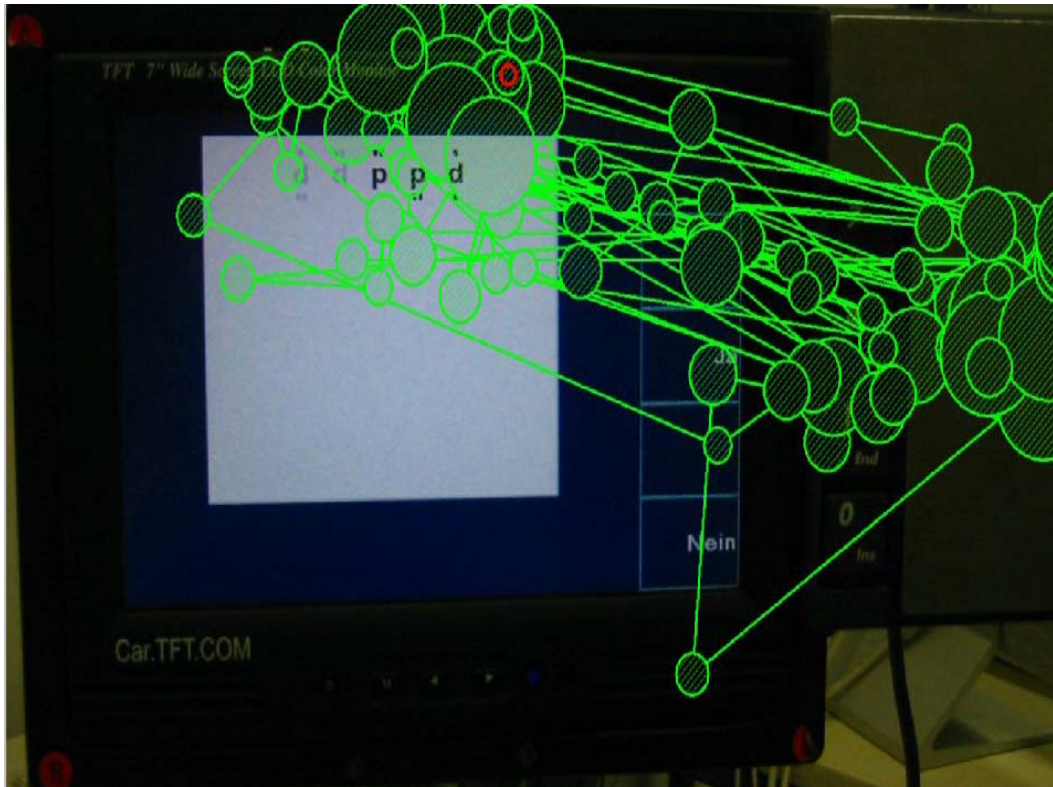


Abbildung 8: Blickpfade bei Studie IV (Schulz et al., submitted)

## 6.2 Interindividuelle Unterschiede

Menschen unterscheiden sich in allen möglichen Bereichen. Dies trifft nicht nur für Persönlichkeitsmerkmale, wie sie die Differentielle Psychologie untersucht, zu. Auch bei der Mensch-Technik-Interaktion entstehen sog. interindividuelle Unterschiede. In manchen Fällen (z.B. bei Unterschieden hinsichtlich der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses) gelingt es relativ gut, diese in den Griff zu bekommen, bsp.weise durch Ergänzung eines Parameters im entsprechenden kognitiven Modell (Daily, Lovett & Reder, 2001; Lovett, Reder & Lebiere, 1999). Interindividuelle Unterschiede (Schunn & Reder, 2001) können aber auch das Resultat von unterschiedlichen Lernarten (*cognitive styles*) und Denkstilen (*thinking styles*) sein (Riding & Rayner, 1998; Rayner & Riding, 1997) sein. In Studie III ergab das nach der Untersuchung durchgeführte Interview, dass die vermeintlich unterstützende Funktion des Hervorhebens der aktuellen Position (*D2-Drive-BIII*) lediglich bei etwa der Hälfte der Versuchspersonen als positiv und somit unterstützend empfunden wurde. Die anderen Versuchspersonen berichteten, die „Zusatzfunktion“ hindere eher das „Vorauslesen“ und Zusammenfassung von mehreren Mustern. Anscheinend wird zuviel Aufmerksamkeit auf diesen visuellen Fokus gezogen. Diese Beobachtung legt eine gruppenspezifische Re-Analyse der Daten nahe mit Berücksichtigung personenspezifischer Verarbeitungspräferenzen.

## 6.3 Prospektives Gedächtnis und Langzeit-Arbeitsgedächtnis

Prospektives Gedächtnis kann als Gedächtnis für noch zu erledigende Aufgaben bezeichnet werden (Ellis & Kvavilashvili, 2000; Goschke. & Kuhl, 1996). Beim prospektiven Erinnern treten zwei Aspekte auf (*prospective goal encoding, retrospective rehearsal*), die beide auch für unterbrochene und wieder aufgenommene Aufgaben

von Bedeutung sind (siehe Dodhia & Dismukes, 2003). Daher stellt sich die berechnete Frage, ob man eine unterbrochene Aufgabe in einer Multitasking-Situation als prospektive Aufgabe ansehen und folglich auch unter diesen Gesichtspunkten untersuchen sollte.

Im Kontext von Studien zur Unterbrechbarkeit betont Oulasvirta (Oulasvirta, 2005; Oulasvirta & Saariluoma, 2004) die auf Ericson & Kintsch (1995) zurückgehende Bedeutung des Langzeit-Arbeitsgedächtnis (long term working memory), dem eine starke Bedeutung gerade bei immer wiederkehrenden und routinierten Aufgaben zugesprochen wird.

Die beiden Gedächtnis-Konzepte spielen für die Zukunft der hier vorgestellten Arbeit eine nicht geringfügige Rolle und legitimieren eine sinnvolle Integration.

## 7. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe MODYS danken, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Marcus Heinath für unermüdliche Hilfsbereitschaft.

## 8. Literatur

Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111, 1036-1060.

Anderson, J.R., Taatgen, N.A. & Byrne, M.D. (2005). Learning to Achieve Perfect Time Sharing: Architectural Implications of Hazeltine, Teague, & Ivry (2002). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(4), 749-761.

Brickenkamp, R. (2001). *Test D2, Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. 9., überarbeitet und neu normierte Auflage. Hogrefe Verlage. Bern, Schweiz.

Brumby, D.P. & Salvucci, D.D. (2006). Exploring human multitasking strategies from a cognitive constraint approach. Poster presented at *The 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Vancouver, BC, Canada.

Byrne, M. D., & Anderson, J. R. (2001). Serial modules in parallel: The psychological refractory period and perfect time-sharing.. *Psychological Review*, 108, 847-869.

Daily, L. Z., Lovett, M. C., & Reder, L. M. (2001). Modeling individual differences in working memory performance: A source activation account in ACT-R. *Cognitive Science* 25, 315-353.

Dodhia R. M. & Dismukes R. K. (2003) A task interrupted becomes a prospective task. Poster presented at the *15th Annual Convention of the American Psychological Society*.

Dzaack, J., Kiefer, J. & Urbas, L. (2005). An approach towards multitasking in ACT-R/PM. In *Proceedings of the 12th Annual ACT-R Workshop, Trieste, Italy*.

Ellis, J. & Kvavilashvili, L. (2000). Prospective memory in 2000: Past, present and future directions. *Applied Cognitive Psychology*, 14, 1-9.

- Ericson, K.A. & Kintsch, W. (1995): Long Term Working Memory. *Psychological Review*, 102, 211-245.
- Gopher, D., Armony, L., & Greenspan, Y. (2000). Switching tasks and attention policies. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 308-339.
- Goschke, T. & Kuhl, J. (1996). Remembering what to do: Explicit and implicit memory for intentions. In M. Brandimonte, G.O. Einstein & M.A. McDaniel (Eds.), *Prospective memory: Theory and applications* (pp. 53-91). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of a multi-dimensional workload rating scale: Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*, (pp. 139-183). Amsterdam, The Netherlands.
- Hazeltine, E., Teague, D., & Ivry, R. B. (2002). Simultaneous dual-task performance reveals parallel response selection after practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 527-545.
- Howes, A., Lewis, R.L., Vera, A., Richardson, J. (2005). Information-Requirements Grammar: A theory of the structure of competence for interaction. In *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 21-24 July, 2005, Stresa, Italy*.
- Kahneman, D. (1992). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kiefer, J. & Urbas, L. (2006) How to model different strategies in dynamic task environments. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling*, 172-176.
- Kiefer, J. (2006). Modeling individual strategic behavior in human multitasking. In *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2530) . Vancouver, British Columbia, Canada.
- Levy, J., & Pashler, H. (2001). Is dual-task slowing instruction dependent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 4, 862-869.
- Levy, J., Pashler, H., & Boer, E. (2006). Central interference in driving: Is there any stopping the psychological refractory period? *Psychological Science*, 17, 228-235.
- Lovett, M. C., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1999). Modeling working memory in a unified architecture: An ACT-R perspective. In A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of Working Memory* (pp. 135-182). Cambridge, MA: Cambridge.
- Mattes, S. (2003). The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In *Proceedings of IGfA, 2003*.
- McCarley, J.S., Vais, M., Pringle, H., Kramer, A.F., Irwin, D.E., & Strayer, D.L. (2004). Conversation disrupts scanning and change detection in complex visual scenes. *Human Factors*, Vol.46.

- McFarlane D. C. (2002) Comparison of four primary methods for coordinating the interruption of people in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 17 (1), 63-139.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, 3-65.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory period phenomena. *Psychological Review*, 104, 749-791.
- Norman, D., & Bobrow, D. (1975). On data-limited and resource-limited processing. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Oulasvirta A. (2005) Interrupted cognition and design for non-disruptiveness: The skilled memory approach. In: *CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM Press, 1124-1125.
- Oulasvirta A. & Saariluoma P. (2004) Long-term working memory and interrupting messages in human-computer interaction. *Behaviour and Information Technology*, 23 (1), 53-64.
- Ovsiankina M. (1928) Die Wiederaufnahme unterbrochener Handlungen. *Psychologische Forschung*, 11 (1), 302-379.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220-244.
- Pashler, H. (2000). Task switching and multitask performance. In S. Monsell, S. & J. Driver (Eds), *Attention and Performance XVIII: Control of mental processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rayner, S. & Riding, R. (1997) Towards a categorisation of cognitive styles and learning styles, *Educational Psychology*, 17, 5-28
- Riding, R.J. & Rayner, S. (1998) *Cognitive style and learning strategies: Understanding style differences in learning & behaviour*. London: David Fulton Publishers.
- Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.
- Röttger, S. & Stelling, D. (2004). Entwicklung eines Arbeitsgedächtnistests für die Eignungsdiagnostik bei Nachwuchspiloten aus dem Running Memory Span Paradigma (RMS). In T. Rammsayer, S. Grabianowski & S. Troche (Hrsg.), *44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Psychologie*. (S. 346). Lengerich: Pabst.
- Rummer, R. (1996). *Kognitive Beanspruchung beim Sprechen*. Weinheim, Germany: Beltz.
- Salvucci, D. D. (2005) A multitasking general executive for compound continuous tasks. *Cognitive Science*, 29, 457-492.

- Salvucci, D. D. (2006). Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors*, 48, 362-380.
- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (submitted). Threaded Cognition: An Integrated Theory of Concurrent Multitasking. Submitted to *Psychological Review*.
- Schulz, M., Kiefer, J., Urbas, L. & Thüring, M. (submitted). Auswirkungen von Zeitdruck und Effizienz beim Multitasking. *Tagungsband TEAP 2007, Trier*.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological Science*, 12 (2), 101-108.
- Schunn, C. D. & Reder, L. M. (2001). Another source of individual differences: Strategy adaptivity to changing rates of success. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(1), 59-76.
- Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12, 462-466.
- Taatgen, N.A. (2005). Modeling parallelization and speed improvement in skill acquisition: from dual tasks to complex dynamic skills. *Cognitive Science*, 29, 421-455.
- Taatgen, N.A.. (1999). *Learning without limits: from problem solving toward a unified theory of learning*. PhD Thesis.
- Tack, W. H. (1995). Wege zu einer differentiellen kognitiven Psychologie. In K., Pawlik (Hrsg.), *Bericht über den 39. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Hamburg 1994*, 172-185. Göttingen: Hogrefe.
- Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative response. *Journal of Experimental Psychology*, 14, 1-35.
- Urbas, L., Schulze-Kissing, D., Leuchter, S., Dzaack, J., Kiefer, J., Heinath, M. (2005) Programmbeschreibung D2-Drive-Aufmerksamkeitstest. Berlin: ZMMS.
- Wickens, C.D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 159-177.
- Wickens, C.D. 2004. Multiple Resource Time Sharing Mode. In *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, ed. Stanton, N., A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas and H.W. Hendrick. London, United Kingdom: CRC Press.

# Situation Awareness beim Autofahren als Verstehensprozess

MARTIN R.K. BAUMANN<sup>1</sup>, TIBOR PETZOLDT<sup>2</sup> & JOSEF KREMS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Straßenwesen

<sup>2</sup> Institut für Psychologie, TU Chemnitz

*Schlüsselwörter: Situation Awareness, Ablenkung, Fahrerinformationssysteme*

## 1. Einführung

Eine wesentliche Voraussetzung für sicheres Fahren besteht darin, dass der Fahrer die verschiedenen Elemente einer Verkehrssituation wahrnimmt und korrekt interpretiert. Bei diesen Elementen handelt es sich zum Beispiel um andere Verkehrsteilnehmer, die Oberfläche der Straße oder Verkehrsschilder. Bei all diesen Elementen ist es nicht nur entscheidend, dass der Fahrer diese Elemente wahrnimmt. Sie/Er muss sie auch in ihrer Bedeutung für das eigene Verhalten und die eigene Sicherheit verstehen. Zusätzlich müssen Annahmen über das zukünftige Verhalten und die zukünftigen Zustände dieser Elemente generiert werden. So reicht es zum Beispiel nicht aus, dass ein von rechts kommendes Fahrzeug bei der Annäherung an eine Kreuzung wahrgenommen wird. Der Fahrer muss die Bedeutung dieses Fahrzeugs in Bezug auf die eigenen Ziele, nämlich die Kreuzung sicher zu überqueren, einschätzen. Er muss berücksichtigen, ob er oder das Fahrzeug von rechts Vorfahrt hat. Aber selbst wenn der Fahrer erkannt hat, dass das Fahrzeug von rechts Vorfahrt gewähren muss, reicht das noch nicht, um eine angemessene Reaktion auszuwählen. Der Fahrer muss darüber hinaus aus dem Geschwindigkeitsverhalten des Fahrzeugs und eventuell aus dem Blickverhalten des Fahrers einschätzen, ob dieser auch tatsächlich an der Kreuzung halten wird, um Vorfahrt zu gewähren.

Ein Konzept, das seit einiger Zeit im Bereich der Flugpsychologie diskutiert wird und das zum Ziel hat, diese verschiedenen Prozesse der Wahrnehmung, der Interpretation und Vorhersage des zukünftigen Verhaltens von Elementen in komplexen dynamischen Situationen zu beschreiben, ist *Situation Awareness*.

## 2. Situation Awareness

Endsley (1995b) beschreibt *Situation Awareness* als einen Wissenszustand. Sie verwendet diesen Begriff synonym zu „Situationsmodell“. Entsprechend ihrer Definition von *Situation Awareness* als „the perception of the elements in the environment within a span of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future“ (Endsley 1995b, S. 36) werden drei Ebenen von *Situation Awareness* unterschieden. Die erste Ebene beinhaltet die Wahrnehmung des Zustands, der Merkmale und der Dynamik der relevanten Situationselemente. Die zweite Ebene, die Verstehensebene, beschreibt die Integration der verschiedenen Situationselemente zu einem ganzheitlichen Bild der augenblicklichen Situation. Diese Integration führt zu einem Verstehen der Bedeutung der einzelnen Situationselemente. Die dritte Ebene beinhaltet die Generierung von Annahmen über das zukünftige Verhalten der Situationselemente, das auf der Basis des in der zweiten Ebene erreichten Verstehens der Situation geschieht.

### 2.1 Generierung und Aktualisierung des Situationsmodells: Ein verstehensbasiertes Modell von Situation Awareness

Endsleys (1995b) Modell ist sicherlich eines der einflussreichsten Modelle von *Situation Awareness*. Eine ganze Reihe von Studien zu diesem Thema sowie verschiedene Bemühungen der Modellierung beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten von *Situation Awareness*. Die meisten dieser Modelle bewegen sich innerhalb der Grenzen von Endsleys Modell (Rousseau, Tremblay & Breton 2005). Doch trotz der bemerkenswerten Erfolge dieses Modells weist es auch einige Schwächen auf. Das Modell hat zum Ziel, die Prozesse zu beschreiben, die zum Aufbau und zur Aufrechterhaltung von *Situation Awareness* führen. Doch die Beschreibung dieser Prozesse bleibt zu abstrakt und spezifiziert nicht, mit Hilfe welcher Prozesse und Mechanismen eine augenblickliche Situation verstanden wird oder wie Annahmen über das zukünftige Verhalten von Situationselementen generiert werden. Das Ziel dieses Beitrags ist es, darzustellen, wie Endsleys Modell durch kognitionspsychologische Theorien des Aufbaus einer Situationsrepräsentation und der Handlungsauswahl ergänzt werden kann, um diese Lücke zu füllen. Dabei wird auf Modelle zurückgegriffen, die im Rahmen kognitionspsychologischer Forschung eine breite empirische Basis aufweisen.

Die Grundlage für unsere Annahmen über die Prozesse, die am Aufbau einer mentalen Repräsentation der Fahrsituation beteiligt sind, bildet die *Construction-Integration Theory* des Verstehens von Kintsch (1998). Kintschs Theorie nimmt an, dass während des Verstehensprozesses ein Wissensnetz aus einfachen Assoziationen zwischen wahrgenommener Information und dem Hintergrundwissen aufgebaut wird. Diese Assoziationen werden dann benutzt, um die Aktivierungsausbreitung in diesem Wissensnetz in einem „constraint-based integration process“ (Doane & Sohn 2000, S. 2) zu steuern. Dadurch entsteht eine kontextsensitive Wissensaktivierung, die als Situationsmodell bezeichnet wird und den augenblicklichen Zustand des Verstehensprozesses beschreibt. Kintschs Theorie wurde bereits zur Erklärung einer Reihe von Phänomenen in verschiedenen Bereichen verwendet, so zum Beispiel für das Verstehen von Texten (Kintsch 1998), für die Bearbeitung einfacher Rechenaufgaben (Mannes & Kintsch 1991), für das Lösen des Turm-von-Hanoi-Problems (Schmalhofer & Tschaitchian 1993), für die Zuwendung visueller Aufmerksamkeit



und die Handlungsplanung beim Steuern eines Flugzeugs (Doane & Sohn 2000). Gerade die Anwendung von Doane & Sohn zeigt, dass Kintschs Theorie geeignet erscheint, den Aufbau der mentalen Repräsentation einer Situation in einer komplexen und dynamischen Aufgabenumgebung, wie sie das Führen eines Kraftfahrzeugs darstellt, zu beschreiben und damit zu erklären, wie *Situation Awareness* aufgebaut wird.

*Situation Awareness* als mentales Modell der augenblicklichen Situation bildet die Grundlage für die Auswahl von Handlungen. Gerade Annahmen über die zukünftige Entwicklung einer Verkehrssituation stellen einen wesentlichen Faktor für die Auswahl von Handlungen dar. Wird der andere Fahrer an der Kreuzung anhalten und mir Vorfahrt gewähren oder hat er das Verkehrsschild übersehen und wird nicht anhalten? Ein Modell von *Situation Awareness* bedarf damit auch der Spezifikation eines Mechanismus, der die mentale Repräsentation der Situation mit der Auswahl der für die so verstandene Situation am besten passenden Handlung verbindet. Die Ausführung dieser Handlung wiederum beeinflusst die Situation, so dass eine Aktualisierung des Situationsmodells erforderlich ist.

Um diesen wechselseitigen Einfluss von *Situation Awareness* als Wissenszustand und *Situation Awareness* als Prozess, der zu diesem Wissenszustand führt, zu beschreiben, verwenden Adams, Tenney und Pew (1995) Neissers (1976) Wahrnehmungs-Handlungszyklus. Ihnen zufolge beeinflusst das aktuelle Situationsmodell, welchen Elementen einer Situation Aufmerksamkeit geschenkt wird und welche Elemente nicht beachtet werden. Die beachteten Elemente werden dann im Detail verarbeitet und die entsprechende neue Information in das Situationsmodell integriert. Das aktualisierte Situationsmodell beeinflusst dann wiederum, welche Handlungen als situationsangemessen beurteilt und ausgeführt werden und welche Situationselemente beachtet werden. Shinoda, Hayhoe und Shrivastava (2001) konnten die Bedeutung derartiger *top-down* Prozesse für die Steuerung visueller Aufmerksamkeit während des Fahrens und der Interpretation von Verkehrssituationen belegen.

Als Modell für einen Mechanismus, der beschreibt, wie im Rahmen des Aufbaus einer mentalen Repräsentation der aktuellen Situation jene Handlungen ausgewählt werden, die für diese Situation am besten geeignet sind, schlagen wir die Theorie der Handlungsauswahl und -steuerung von Norman und Shallice (1986) vor, die im folgenden nur kurz skizziert wird, da der Schwerpunkt dieses Beitrags auf der Konstruktion und Aufrechterhaltung des Situationsmodells liegt. Groeger (2000) hat bereits beschrieben, wie diese Theorie eingesetzt werden kann, um die Auswahl von Handlungen im Verkehrskontext zu beschreiben. Diese Theorie geht davon aus, dass Handlungen über Schemata gesteuert werden, die miteinander um Aktivierung konkurrieren. Es übernimmt dasjenige Schema die Handlungskontrolle und wird somit ausgeführt, welches die höchste Aktivierung besitzt. Die Aktivierung eines Schemas erfolgt zum einen über *bottom-up* Prozesse, wenn die Ausführungsbedingungen eines Schemas in der aktuellen Situation vorliegen, zum anderen über *top-down* Prozesse, so dass diejenigen Schemata, die mit den aktuellen Handlungszielen übereinstimmen, stärker aktiviert sind als andere. Gleichzeitig beeinflussen sich die Schemata untereinander über aktivierende und hemmende Verknüpfungen.

Das Situationsmodell beeinflusst die Aktivierung von Handlungsschemata über diese zwei Wege. Zum einen beinhaltet das Situationsmodell die Repräsentation der aktuellen Situation. Diese Repräsentation enthält Informationen, die mit den Ausführungsbedingungen der verschiedenen Handlungsschemata verglichen werden. Die

Aktivierung von Schemata, deren Ausführungsbedingungen im augenblicklichen Situationsmodell erfüllt sind, wird erhöht. Zum anderen enthält das Situationsmodell auch langfristige Handlungsziele, wie zum Beispiel das Fahrziel. Diese Informationen stellen den Ausgangspunkt für *top-down* Prozesse dar, die die Aktivierung von dazu passenden Schemata erhöhen. Auf der Grundlage der im Situationsmodell repräsentierten Informationen findet somit die Aktivierung situationsadäquater und die Hemmung situationsinkompatibler Schemata und der entsprechenden Handlungen statt. Die ausgeführten Handlungen wiederum beeinflussen, welche Informationen beachtet und verarbeitet werden und führen zu einer entsprechenden Anpassung des Situationsmodells.

## **2.2 Die Konstruktion des Situationsmodell: Das Verstehen der Situation**

Wie wird das Situationsmodell Kintschs (1998) *Construction-Integration Theory* zufolge aufgebaut? Kintsch nimmt an, dass das Verstehen von Information in zwei Phasen erfolgt. In der Konstruktionsphase führt die Wahrnehmung von Informationen aus der Umwelt zu einer Aktivierung von Wissensstrukturen im Langzeitgedächtnis, die mit diesen Informationen assoziiert sind. Dieser Aktivierungsprozess ist parallel, ungerichtet und folgt gelernten Assoziationen zwischen diesen Wissensstrukturen. In der Integrationsphase wird das aktivierte Wissen integriert, so dass eine kohärente mentale Repräsentation der aktuellen Situation entsteht. Dies geschieht mit Hilfe von wechselseitigen Erregungs- und Hemmungsprozessen zwischen den Wissensstrukturen im Langzeitgedächtnis, die über die jeweiligen Verknüpfungen der Wissensstrukturen untereinander gesteuert werden. Kompatible Strukturen sind exzitatorisch, inkompatible Strukturen inhibitorisch miteinander assoziiert, so dass sich kompatible Wissensstrukturen wechselseitig aktivieren, während sich inkompatible Strukturen hemmen. Führt also die Wahrnehmung von neuer Information in der Konstruktionsphase zur Aktivierung von unterschiedlichen, inkompatiblen Wissensstrukturen, werden sich am Ende diejenigen durchsetzen, welche mit der aktuellen mentalen Repräsentation am ehesten kompatibel sind, da diese Strukturen über die bereits aktivierten Elemente des aktuellen Situationsmodells weitere Aktivierung erfahren, während damit inkompatible Elemente gehemmt werden. Wenn der Fahrer aus obigem Beispiel sich also der Kreuzung nähert und erkannt hat, dass er Vorfahrt hat, ist die Wahrnehmung eines Fahrzeugs auf der nachrangigen Straße, das die Geschwindigkeit nicht reduziert, inkompatibel mit dem augenblicklichen Situationsmodell. Es kommt zu wechselseitigen Hemmungsprozessen, die im günstigsten Fall dazu führen, dass die normalerweise mit dieser Situation verbundenen Handlungsschemata, nämlich Überqueren der Kreuzung, gehemmt werden, und sich statt dessen Schemata durchsetzen, die zum Anhalten vor der Kreuzung und damit zum Vermeiden eines Zusammenstoßes führen.

Dieses Modell der Konstruktion eines Situationsmodells beschreibt somit auch einen Mechanismus, wie zumindest in Routinesituationen Annahmen über das zukünftige Verhalten von Situationselementen generiert werden können. In derartigen Routinesituationen ist anzunehmen, dass Erwartungen über das zukünftige Verhalten relevanter Situationselemente über die Wahrnehmung der entsprechenden Elemente mit aktiviert werden und so für den Fahrer verfügbar sind. Wenn ein erfahrener Fahrer sich einer Kreuzung nähert und das Vorfahrtsschild wahrnimmt, wird dies vermutlich

automatisch zur Generierung der Erwartung führen, dass Fahrzeuge auf nachgeordneten Straßen vor der Kreuzung anhalten werden, um ihm Vorfahrt zu gewähren.

### **2.3 Situation Awareness und Ablenkung**

Die Ablenkung des Fahrers ist eine wesentliche Ursache für Fahrfehler. Sie kann eine Reihe von Ursachen haben, wie Mitfahrer im Fahrzeug, Objekte außerhalb des Fahrzeugs oder Aufgaben, die während der Fahrt im Fahrzeug bearbeitet werden. Diese Ablenkung kann visuell sein, wenn der Fahrer von der Straße weg auf das Display eines Fahrerinformationssystems (FIS) blickt. Sie kann biomechanisch sein, wenn der Fahrer zum Beispiel seine Hand vom Lenkrad nimmt, um das Radio zu bedienen. Sie kann auditiv sein, wenn das Radio im Fahrzeug Signale anderer Fahrzeuge übertönt. Und sie kann kognitiv sein, wenn sich zum Beispiel der Fahrer intensiv mit dem Beifahrer unterhält. Das verstehensbasierte Modell von *Situation Awareness* kann vor allem Hinweise geben, wie kognitive Ablenkung zu Fahrfehlern führen kann.

Eine bestimmte Form von Fehler, der häufig als *looked-but-did-not-see* bezeichnet wird, besteht darin, dass der Fahrer zwar zum relevanten Objekt geblickt hat, aber offenbar die Bedeutung des Objekts nicht erkannt hat (z.B. zur roten Ampel blicken, aber nicht anhalten). Dies tritt besonders häufig in Situationen auf, in denen der Fahrer kognitiv abgelenkt ist. Das verstehensbasierte Modell von *Situation Awareness* macht deutlich, dass das Verstehen von Elementen einer Situation Ressourcen beansprucht. Vor allem das Arbeitsgedächtnis spielt eine wesentliche Rolle. Die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses sind notwendig, um wahrgenommene Elemente mit den entsprechenden Wissensstrukturen im Langzeitgedächtnis zu verknüpfen, um diese Strukturen in das vorhandene Situationsmodell zu integrieren, um irrelevante Elemente aus dem Situationsmodell zu entfernen, um relevante Elemente für die weitere Verarbeitung verfügbar zu halten und um die Auswahl und die Ausführung der ausgewählten Handlungen zu überwachen. Im Falle kognitiver Ablenkung sind diese Ressourcen zum Teil durch andere, fahrtirrelevante Aufgaben gebunden. Dies kann dazu führen, dass wahrgenommene Elemente zu oberflächlich verarbeitet werden und nicht ausreichend mit Wissensstrukturen im Langzeitgedächtnis verknüpft werden. Der Verstehensprozess wird vorzeitig beendet und nicht alle relevanten Implikationen des wahrgenommenen Elements werden in das Situationsmodell integriert. Darüber hinaus kann die unzureichende Verarbeitung des Situationselements zu einer schwachen Gedächtnisspur führen, die schnell zerfällt und damit im Situationsmodell nicht mehr enthalten ist. In beiden Fällen wird das entsprechende Element bei der Auswahl der folgenden Handlungen nicht ausreichend berücksichtigt.

### **2.4 Situation Awareness und Fahrerinformationssysteme**

Dieses verstehensbasierte Modell der Konstruktion und Aufrechterhaltung eines Situationsmodells beim Autofahren betont damit die Rolle des Arbeitsgedächtnisses für *Situation Awareness*. Ausgehend von der Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses für die Aufrechterhaltung eines korrekten Situationsmodells einerseits und der Bedeutung eines korrekten Situationsmodells für die Güte der Fahrperformanz andererseits erscheint die Untersuchung der Belastung von Arbeitsgedächtnisressourcen durch zusätzliche Aufgaben, die während des Fahrens bearbeitet werden, in höchstem Maße relevant.

Durch die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Zusatzaufgaben besteht wie oben dargestellt die Gefahr, dass der Fahrer zu sehr kognitiv abgelenkt ist und somit nicht mehr ausreichend Ressourcen vorhanden sind, um das Situationsmodell aktuell und alle relevanten Informationen im Situationsmodell verfügbar zu halten. Das kann dazu führen, dass bestimmte Elemente der tatsächlichen Situation nicht im Situationsmodell des Fahrers repräsentiert sind, zum Beispiel wenn vergessen wurde, welche Geschwindigkeitsbeschränkung im Augenblick gilt, oder dass das Situationsmodell falsche Interpretationen von Situationselementen enthält, wenn zum Beispiel nicht erkannt wurde, dass eine Geschwindigkeitsbegrenzung nur bei Nässe gilt. Eine Möglichkeit, um die Gefahr kognitiver Ablenkung zu reduzieren, besteht darin, den Fahrer bei der Aufrechterhaltung und Konstruktion des Situationsmodells zu unterstützen. Dies kann zum Beispiel dadurch geschehen, dass Informationen extern verfügbar gemacht werden, die der Fahrer dann nicht mehr intern zu repräsentieren braucht. In diesem Sinne könnte die augenblicklich geltende zulässige Höchstgeschwindigkeit im Cockpit des Fahrers angezeigt werden.

Andererseits muss bei der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen (FIS) darauf geachtet werden, dass die Bedienung dieser Systeme nicht zu einer zu starken kognitiven Ablenkung des Fahrers führt, so dass die für den Aufbau und die Aufrechterhaltung eines kohärenten und konsistenten Situationsmodells notwendigen Ressourcen nicht mehr zur Verfügung stehen. Es ist also notwendig, bei der Gestaltung von FIS die Auswirkungen der Bedienung dieser Systeme auf *Situation Awareness* des Fahrers zu berücksichtigen. Wie kann dies erreicht werden?

Eine Möglichkeit besteht darin, Fahrer die entsprechenden Aufgaben während der Fahrt bearbeiten zu lassen und dann die Auswirkungen der Bearbeitung auf *Situation Awareness* direkt zu erfassen. Das wohl bekannteste Verfahren, das diesem Ansatz folgt, dürfte das von Endsley (1995a) entwickelte SAGAT-Verfahren (*Situation Awareness Global Assessment Technique*) sein. In seiner Konzeption grundsätzlich domänenunabhängig, findet es hauptsächlich Anwendung im Flugwesen, allerdings liegen auch Adaptionen für andere Bereiche, zum Beispiel die Kontrolle von Kernkraftwerken, vor. Das Verfahren beruht darauf, dass Domänenexperten wie etwa Piloten in einem entsprechenden Simulator tätigkeitsrelevante Aktionen und Manöver ausführen. Die Simulation wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten angehalten und den Experten werden Fragen zu der augenblicklichen Situation gestellt, beispielsweise über die aktuelle Flughöhe oder wo sich ein weiteres Flugzeug befindet, aber auch komplexere Fragen wie etwa welche Flugzeuge bestimmte Lufträume verletzen, wenn sie den aktuellen Kurs beibehalten. Der Anteil der korrekt beantworteten Fragen wird als Maß für die Güte von *Situation Awareness* verwendet. Mit diesem Verfahren kann so die Auswirkung von Zusatzaufgaben oder neuartiger Anzeigen auf *Situation Awareness* direkt erfasst werden. Die Formulierung der nach der Unterbrechung zu stellenden Fragen bedarf allerdings einer detaillierten Aufgabenanalyse, damit die relevanten Situationsparameter abgefragt werden. Diese liegt bisher für den Bereich des Autofahrens nicht in ausreichendem Maße vor. Darüber hinaus ist es schwierig, aus den fehlerhaften Antworten Rückschlüsse auf die Ursachen verringerter *Situation Awareness* zu ziehen. Wurde die Frage falsch beantwortet, weil das neuartige System zu stark visuell oder zu stark kognitiv ablenkt? Schließlich lassen sich mit einem derartigen Verfahren nur Systeme bewerten, die in ihrer Entwicklung schon relativ weit fortgeschritten sind, so dass sie in einem Simulator implementiert werden können. Es erscheint aber notwendig, Verfahren zu besitzen, die bereits frühzeitig im Gestaltungsprozess eingesetzt werden können, um effektiv und rechtzeitig

jene Gestaltungsvarianten aussortieren zu können, die zu einer inakzeptablen Beeinträchtigung von *Situation Awareness* des Fahrers führen könnten.

Unser Ansatz ist stärker prozess-orientiert. Basierend auf den Annahmen des verstehensbasierten Modells von *Situation Awareness* über die Prozesse, die an der Generierung und Aufrechterhaltung von *Situation Awareness* beteiligt sind, wurde ein Verfahren entwickelt und getestet, mit dem Zusatzaufgaben im Fahrzeug bewertet werden sollen. Die Bewertung sollte Aussagen darüber machen, wie stark die Ausführung dieser Aufgaben mit *Situation Awareness* Prozessen interferiert. Das heißt, mit Hilfe des Modells wurden jene Prozesse identifiziert, die wesentlich am Aufbau und der Aufrechterhaltung von *Situation Awareness* beteiligt sind. So ist ein wesentlicher Aspekt die Kontextabhängigkeit der Interpretation neuer Informationen. Welche Verknüpfungen zwischen neu enkodierter Information und dem Hintergrundwissen aufgebaut und aufrechterhalten werden, hängt entscheidend von dem bereits aktivierten Wissensnetz, also dem aktuellen Situationsmodell, ab. Deshalb sollte das Verfahren erfassen, inwieweit die Bearbeitung von Zusatzaufgaben das Aufrechterhalten und die Aktualisierung eines Wissenskontexts beeinträchtigt. Der wesentliche Vorteil dieses Ansatzes liegt unserer Einschätzung nach darin, dass eine Bewertung von Zusatzaufgaben auf dieser Grundlage es erlaubt, spezifische Vorhersagen über die Auswirkungen dieser Zusatzaufgaben auf *Situation Awareness* zu machen.

Visuelle Ablenkung sollte zum Beispiel dazu führen, dass Situationselemente nicht wahrgenommen und deshalb nicht in das Situationsmodell aufgenommen werden. Kognitive Ablenkung dagegen sollte nicht zu einer Beeinträchtigung der Wahrnehmungsebene von *Situation Awareness*, sondern vielmehr wie oben dargestellt zu einer Beeinträchtigung der Verstehensebene und der Vorhersageebene führen. Kognitiv beanspruchende Aufgaben sollten dazu führen, dass Assoziationen zwischen wahrgenommener Information und Hintergrundwissen nur unzureichend aufgebaut werden. Es entsteht ein eingeschränktes Wissensnetz und damit eine unvollständig interpretierte und damit verstandene Situation. Bestimmte Aspekte, zum Beispiel Erwartungen über die weitere Entwicklung der Situation könnten nicht im Situationsmodell enthalten sein oder es werden nur die Standardinterpretationen einer Situation aktiviert und diesen widersprechende Informationen nicht integriert.

Eine weitere Anforderung an das Verfahren sollte sein, dass es frühzeitig im Gestaltungsprozess von Systemen eingesetzt werden kann. Dies erfordert, dass ohne großen technischen Aufwand bereits Prototypen der Zusatzaufgaben getestet werden können.

Im Rahmen der Entwicklung eines derartigen Verfahrens wurde eine Serie von Experimenten durchgeführt, in der eine Reihe von Aufgaben bewertet wurde. Ziel dieser Experimente war die Validierung des von uns vorgeschlagenen Verfahrens. Dazu wurden Aufgaben konstruiert, die ein klares Profil hinsichtlich ihres visuellen und kognitiven Ablenkungspotentials aufweisen. Es sollte überprüft werden, inwieweit die Bewertungen durch das Verfahren das angenommene Ablenkungsprofil der Aufgaben nachbilden und in einer abschließenden Fahrstudie inwieweit diese Bewertungen mit den Auswirkungen der Aufgaben auf *Situation Awareness* übereinstimmen. Im Folgenden wird zunächst das Prinzip des Verfahrens kurz dargestellt und anschließend das erste Experiment zur Validierung dieses Verfahrens berichtet. In diesem Experiment wurden Laboraufgaben zur Simulation von Zusatzaufgaben im Fahrzeug verwendet, um die Anforderung an den Probanden klar kontrollieren zu

können. Ziel dieses Experiments war zu untersuchen, ob das entwickelte Verfahren prinzipiell funktionieren könnte.

### 3. Das Verfahren

Um visuelle und kognitive Ablenkung durch FIS zu untersuchen wurde eine kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe entwickelt, welche vom Probanden den Aufbau eines simplen Situationsmodells erfordert. Diese Aufgabe verlangt die Wahrnehmung relevanter Reize, die in Abhängigkeit eines wechselnden Kontexts interpretiert werden müssen, um richtig darauf zu reagieren. Damit sind an der Bearbeitung dieser Aufgabe auch jene Prozesse beteiligt, die an der Generierung und Aufrechterhaltung eines Situationsmodells im Straßenverkehr beteiligt sind. Diese kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe ist gleichzeitig zu der zu bewertenden Aufgabe durchzuführen, wobei die Wahlreaktionsaufgabe die Sekundäraufgabe darstellt. Somit werden die für diese Aufgabe nutzbaren Ressourcen entscheidend beeinflusst und beeinträchtigt durch die akkurate Bearbeitung der zu bewertenden Systemaufgabe.

Konkret werden 19° Sehwinkel links und rechts von den Probanden verschiedenfarbige Stimuli präsentiert. Dieses Vorgehen ähnelt einer Laborvariante der *Peripheral Detection Task* (PDT; van Winsum, Martens & Herland 1999), die bereits in einer früheren Untersuchung zur Erfassung der visuellen Ablenkung evaluiert wurde (Baumann, Rösler, Jahn & Krems 2003). Die Farben der Reize sind bezüglich ihrer Leuchtdichte an den Hintergrund angepasst, so dass hier eine foveale Zuwendung zu den möglichen Stimuluspositionen zur Entdeckung der Reize notwendig ist.

Für die Auswahl der richtigen Reaktion ist aber nicht nur die Wahrnehmung des Reizes und seiner Farbe wichtig. Gleichzeitig muss der Proband den aktuellen Kontext berücksichtigen. Dieser wurde in unserem Experiment über einen akustischen Kontextreiz signalisiert. Dabei handelte es sich entweder um einen hohen oder tiefen Ton. Der Kontext signalisiert dem Versuchsteilnehmer, welches Reaktionsmuster im jeweiligen Fall aktuell gültig ist. Es ist also kein visueller Zielreiz über den gesamten Untersuchungsverlauf hinweg an die gleiche Reaktion gekoppelt. Stattdessen ist ein ständiges Überprüfen und Verändern des Antwortverhaltens gefordert. Mit jeder Darbietung eines Kontextreizes ist eine Aktualisierung des aktuellen Situationsmodells in Bezug auf den herrschenden Kontext notwendig. Zudem muss der aktuell relevante Kontext generell aktiviert gehalten werden bis ein neuer Kontextreiz einen Kontextwechsel anzeigt. Für diese Vorgänge sollten aufgrund der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisse nur diejenigen kognitiven Ressourcen zur Verfügung stehen, die nicht durch die zu bewertende Aufgabe beansprucht werden. Als Kontextreize sind dabei grundsätzlich sehr verschiedenartige Stimuli denkbar. Allerdings bietet sich in diesem Fall aufgrund der starken visuellen Komponente der zu untersuchenden Fahraufgabe die Wahl auditiver Reize als Kontextsignale an.

Diese kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe liefert somit zwei Maße, die zur Bewertung der visuellen und der kognitiven Ablenkung einer Aufgabe herangezogen werden können. Das erste Maß ist die Entdeckungsrate der Reize, d.h. der Anteil der Reize, auf die überhaupt reagiert wurde, unabhängig von der Korrektheit der Reaktion. Dieses Maß wird als Maß für die visuelle Ablenkung durch die Aufgabe verwendet. Aufgaben, die mit einer hohen visuellen Ablenkung verbunden sind, erfordern eine hohe Blickzuwendung. Das führt dazu, dass die Blickzuwendungen zu den visuellen Reizen der Wahlreaktionsaufgabe reduziert sind. Je größer die visuelle Ablen-

kung, die die Aufgabe mit sich bringt, desto seltener ist es möglich, den Blick den Stimuluspositionen zuzuwenden, um die Zielreize zu entdecken. Die Entdeckungsrate sollte dementsprechend sinken.

Auch in anderen Arbeiten zu *Situation Awareness* finden derartige Entdeckungsaufgaben in verschiedener Form Anwendung. So verwendeten Gugerty & Falzetta (2005) ein so genanntes *Event-Detection* – Maß, also die Entdeckungsrate, im Fahr-simulator. Aufgabe der Teilnehmer war es, auf Zielereignisse mit einem Tastendruck zu reagieren. Die Autoren sind der Auffassung, dass derartige Entdeckungsaufgaben auf die erste Stufe von *Situation Awareness* abzielen. Dementsprechend wird erwartet, dass die Entdeckungskomponente der Wahlreaktionsaufgabe verwendet werden kann, um die Korrektheit der *Situation Awareness* im Hinblick auf die Wahrnehmungsebene zu beurteilen.

Das zweite Maß ist die Trefferrate, d.h. der Anteil der richtigen Reaktionen an allen gezeigten Reaktionen. Die Trefferrate wird als Maß für die kognitive Ablenkung durch die Aufgaben verwendet. Aufgaben, die mit einer hohen kognitiven Ablenkung verbunden sind, beanspruchen das Arbeitsgedächtnis in hohem Maße. Demzufolge sollten Probanden während der Bearbeitung dieser Aufgaben häufiger den aktuellen Kontext für die Wahlreaktionsaufgabe vergessen oder die Aktualisierung des Kontexts bei einem Kontextwechsel nicht vornehmen. Je höher die kognitive Ablenkung ist, desto häufiger sollten diese Fehler auftreten und desto stärker sollte die Trefferrate sinken. Ausgehend von der Tatsache, dass in dem hier entwickelten Verfahren eine Reaktion auf die Zielreize der Wahlreaktionsaufgabe überhaupt nur dann erfolgt, wenn der Zielreiz entdeckt wurde, deuten fehlerhafte Reaktionen auf eine Beeinträchtigung der Verstehensebene der *Situation Awareness* hin. Dieser Ansatz ähnelt einer von Pritchett, Hansman und Johnson (1996) berichteten Messung von *Situation Awareness*, die auf der richtigen Reaktion auf relevante Ereignisse in einer Simulation basiert. Sie sind der Auffassung, dass sich mit diesem Verfahren direkt messen lässt, ob der Teilnehmer ausreichende *Situation Awareness* entwickelt hat, um eine korrekte Aktion auszuführen.

## 4. Experiment

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die grundlegende Leistungsfähigkeit der entwickelten Wahlreaktionsaufgabe zu überprüfen. Dafür wurde die von Informationssystemen ausgehende Beanspruchung mit Hilfe simpler Laboraufgaben simuliert. Die Herstellung einer visuellen Ablenkung erfolgte dabei mittels visueller Suchaufgabe, kognitive Ablenkung wurde über eine *1-back* Aufgabe induziert (Dobbs & Rule 1989). Bei dieser Aufgabe wird dem Probanden jeweils ein Reiz, in unserem Experiment ein Buchstabe, präsentiert, den sich der Proband merken muss. Gleichzeitig muss er den unmittelbar zuvor gezeigten Reiz erinnern. Diese Aufgabe erfordert also eine ständige Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisinhalts und beansprucht die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses in hohem Maße. Es wurde angenommen, dass sich die gleichzeitige Ausführung der Suchaufgabe negativ auf die Entdeckungsrate bei der Wahlreaktionsaufgabe auswirkt, während die parallele Bearbeitung der *1-back* Aufgabe eine erhöhte Rate an Fehlreaktionen zur Folge haben sollte. Zusätzlich dazu sollte sich, unabhängig von der bearbeiteten Aufgabe, für die *dual-task* Bedingungen eine deutliche Beeinträchtigung in den relevanten Maßen verglichen

mit der *Baseline*, also der ausschließlichen Bearbeitung der kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe, ergeben.

## **4.1 Methodisches Vorgehen**

### **4.1.1 Probanden und Design**

Es konnten 26 studentische Versuchspersonen für die Teilnahme an der Untersuchung gewonnen werden. Die Probanden wurden einzeln in einem einfaktoriellen *within-design* getestet. Unabhängige Variable war dabei die Art der Zusatzaufgabe zur Wahlreaktionsaufgabe: Wahlreaktionsaufgabe ohne Zusatzaufgabe (*Baseline*), Wahlreaktionsaufgabe mit gleichzeitiger visueller Suchaufgabe und Wahlreaktionsaufgabe mit gleichzeitiger *1-back* Aufgabe. Die Erfassung der *Baseline* erfolgte immer zu Beginn einer Sitzung, die Abfolge der beiden Zusatzaufgaben war über die Versuchsteilnehmer hinweg ausbalanciert.

### **4.1.2 Material und Aufgaben**

Alle verwendeten Aufgaben wurden mit E-Prime erstellt (Schneider, Eschman & Zuccolotto, 2002a; Schneider, Eschman & Zuccolotto, 2002b). Die Darbietung der visuellen Zielreize der kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe erfolgte über einen IBM-kompatiblen Pentium-PC mittels Projektor. In einem Sehwinkel von etwa 19° wurden 2,5cm große gelbe und blaue kreisförmige Zielreize in Abständen von drei bis fünf Sekunden für jeweils 500ms dargeboten. Nach drei bis fünf Zielreizen wurde der Kontextreiz präsentiert, ein tiefer oder hoher Sinuston (200Hz bzw. 800Hz) von 1000ms Dauer. Dieser akustische Reiz definierte, wie auf die nachfolgenden visuellen Zielreize zu reagieren war. Für die Hälfte der Versuchsteilnehmer signalisierte ein niedriger Ton, dass sie auf einen gelben Reiz mit dem Drücken der rechten Reaktionstaste und auf einen blauen Zielreiz mit dem Drücken der linken Reaktionstaste zu reagieren hatten. Ein hoher Ton signalisierte, das jetzt in umgekehrter Weise zu reagieren war, d.h. bei einem gelben Zielreiz mit der linken und bei einem blauen Zielreiz mit der rechten Taste. Bei der anderen Hälfte der Versuchsteilnehmer war die Bedeutung der Kontextreize vertauscht.

Die visuelle Suchaufgabe ebenso wie die *1-back* Aufgabe wurden zentral vor dem Probanden auf einem 12 Zoll großen Notebook-Display dargeboten. In der Suchaufgabe sollten die Probanden einen Zielreiz (E, F, K, L, N oder T) unter 158 Distraktoren (Z und H) finden. Die Reizvorlagen wurden maximal zehn Sekunden gezeigt, die Teilnehmer waren angehalten den Zielreiz bei Entdecken zu verbalisieren. Für die *1-back* Aufgabe wurden sechs verschiedene Buchstaben (C, H, J, L, Q, X) in Abständen von jeweils zwei Sekunden für zwei Sekunden in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Sobald ein neuer Buchstabe dargeboten wurde, verbalisierten die Probanden den vorangegangenen.

### **4.1.3 Ablauf**

Nach Durchführung eines kurzen Sehtest wurden den Teilnehmern schriftliche Instruktionen zum Zweck der Untersuchung und den bevorstehenden Aufgaben gegeben. Es wurde dabei darauf hingewiesen, dass die kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe als Sekundäraufgabe zu betrachten ist. Zunächst wurden demographische Daten wie Alter, Geschlecht etc. erfasst. Es folgten eine Einführung und Baselineerfassung für die Wahlreaktionsaufgabe, wobei zehn Kontextreize mit etwa 40 Zielrei-



zen dargeboten wurden. Danach wurde die erste der beiden Zusatzaufgaben erklärt, auch hier erfolgte eine Baselineerfassung für die Leistung in der Zusatzaufgabe ohne gleichzeitige Wahlreaktionsaufgabe, bevor die Zusatzaufgabe und die kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe parallel bearbeitet wurden. Nach einer Übungsphase wurden hier in zwei Blöcken insgesamt 50 Kontextreize mit dementsprechend zirka 200 Zielreizen präsentiert. Dieser Ablauf wiederholte sich für die zweite Zusatzaufgabe. Die Gesamtdauer einer Sitzung betrug, je nach Übungslänge, 65 bis 80 Minuten.

## 4.2 Ergebnisse und Diskussion

In die Analyse gingen die Datensätze von 24 Probanden ein. Die von zwei Teilnehmern in der kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe erzielten Ergebnisse lagen deutlich unter dem Durchschnitt der übrigen Teilnehmer. Bei einem der Probanden lag eine massive Beeinträchtigung des Sehvermögens vor, so dass in den Experimentaldurchgängen Entdeckungsraten von unter 5% erzielt wurden. Eine zweite Versuchsperson produzierte trotz korrekter Bearbeitung der Übungen in den Experimentaldurchgängen Trefferraten von unter 3%. Diese beiden Teilnehmer wurden in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Für die Testaufgaben wurden deutliche Lerneffekte festgestellt, so dass nur die Leistungen im 2. Experimentalblock als ausreichend stabil und somit verwertbar betrachtet wurden. Zur Analyse der Daten wurden für alle Versuchspersonen Entdeckungsrate und Trefferrate berechnet (Tabelle 1).

Tabelle 1. Mittelwerte und Standardabweichungen für Entdeckungsrate und Trefferrate in Abhängigkeit von der Zusatzaufgabe

abhängige Variable	keine Testaufgabe		visuelle Suche		1-back-Aufgabe	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Entdeckungsrate	<b>0.99</b>	0.043	<b>0.80</b>	0.12	<b>0.90</b>	0.12
Trefferrate	<b>0.93</b>	0.11	<b>0.86</b>	0.12	<b>0.88</b>	0.12

Der Friedman-Test ergab für die Entdeckungsrate ein signifikantes Ergebnis ( $\chi^2 = 36.583$ ,  $df = 2$ ,  $p < .001$ ). Die paarweisen Vergleiche nach Wilcoxon mit nach Bonferroni angepasstem  $\alpha$ -Niveau von  $p = .017$  zeigten, dass ohne zusätzliche Aufgabe signifikant mehr Zielreize entdeckt wurden als bei gleichzeitiger Bearbeitung einer der beiden Zusatzaufgaben (keine Zusatzaufgabe vs. visuelle Suche mit  $Z = -4.286$ ,  $p < .001$ ; keine Zusatzaufgabe vs. 1-back mit  $Z = -3.914$ ,  $p < .001$ ). Zudem wurden bei paralleler Bearbeitung der visuellen Suchaufgabe signifikant weniger Zielreize entdeckt als bei zeitgleicher Ausführung der 1-back Aufgabe ( $Z = -3.371$ ,  $p = .001$ ). Für die Trefferrate ergab der Friedman-Test ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ( $\chi^2 = 14.463$ ,  $df = 2$ ,  $p = .001$ ). Die paarweisen Vergleiche zeigten dabei mit einem erneut auf  $p = .017$  korrigierten  $\alpha$ -Niveau eine signifikant höhere Trefferrate für die alleinige Bearbeitung der Wahlreaktionsaufgabe verglichen mit gleichzeitiger Bearbeitung von Wahlreaktionsaufgabe und visueller Such-

aufgabe ( $Z = - 2.686, p = .007$ ), jedoch keinen Unterschied verglichen mit der *1-back* Aufgabe ( $Z = - 2.342, p = .019$ ). Auch zwischen visueller Suche und *1-back* Aufgabe konnten keine Unterschiede gefunden werden ( $Z = - 1.686, p = .092$ ).

Auf die Vermutung hin, dass die richtige Bearbeitung der kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe direkt nach Auftreten eines Kontextreizes aufgrund der höheren kognitiven Belastung am schwierigsten und deshalb der Einfluss der *1-back* Aufgabe am größten sein sollte, wurden alle Reaktionen auf visuelle Zielreize, die auf einen Kontextreiz folgten (Tabelle 2), gesondert ausgewertet.

Tabelle 2. Mittelwerte und Standardabweichungen für Entdeckungsrate und Trefferrate in Abhängigkeit von der Zusatzaufgabe für Reaktionen direkt nach einem Kontextreiz

abhängige Variable	keine Testaufgabe		visuelle Suche		1-back-Aufgabe	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Entdeckungsrate	<b>.99</b>	.028	<b>0.83</b>	0.12	<b>0.91</b>	0.093
Trefferrate	<b>0.92</b>	0.13	<b>0.84</b>	0.15	<b>0.85</b>	0.11

Der Friedman-Test ergab für die Entdeckungsrate ein signifikantes Ergebnis ( $\chi^2 = 28.447, df = 2, p < .001$ ). Analog zur Untersuchung des gesamten Datensatzes zeigten die paarweisen Vergleiche auch hier eine signifikant höhere Entdeckungsrate bei der alleinigen Bearbeitung der Wahlreaktionsaufgabe verglichen mit der parallelen Bearbeitung einer der Zusatzaufgaben (keine Zusatzaufgabe vs. visuelle Suche mit  $Z = - 4.025, p < .001$ , keine Zusatzaufgabe vs. *1-back* mit  $Z = - 3.418, p = .001$ ). Die Entdeckungsrate war bei gleichzeitiger visueller Suche ebenfalls geringer als bei zeitgleich ausgeführter *1-back* Aufgabe ( $Z = - 2.688, p = .007$ ).

Auch für die Trefferrate wurden signifikante Unterschiede gefunden ( $\chi^2 = 10.731, df = 2, p = .005$ ). Die paarweisen Vergleiche zeigten eine signifikant höhere Trefferrate bei der alleinigen Bearbeitung der kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe verglichen mit den beiden Zusatzaufgabenbedingungen (keine Aufgabe vs. visuelle Suche mit  $Z = - 2.443, p = .015$ ; keine Aufgabe vs. *1-back* mit  $Z = - 2.486, p = .013$ ). Der Unterschied in der Trefferrate zwischen visueller Suche und *1-back* Aufgabe wurde erneut nicht signifikant ( $Z = - .714, p = .475$ ).

Die Ergebnisse hinsichtlich der visuellen Ablenkung bestätigen Ergebnisse früherer Untersuchungen, in der eine visuelle Entdeckungsaufgabe, die der Wahlreaktionsaufgabe dieses Experiments ähnlich war, verwendet wurde (Baumann et al. 2003). Ähnlich wie in diesem Experiment erwies sich die Entdeckungsrate als valides Maß für die Bewertung der visuellen Ablenkung durch Zusatzaufgaben. Die Weiterentwicklung der von Baumann et al. (2003) verwendeten Entdeckungsaufgabe zu einer kontextabhängigen Wahlreaktionsaufgabe, um damit auch kognitive Ablenkung erfassen zu können, erscheint aber angesichts der Ergebnisse bezüglich der Trefferrate als nur in Grundzügen gelungen. Die Trefferraten zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen der visuellen Suchaufgabe und der *1-back* Aufgabe. Es ist aber davon auszugehen, dass sich diese beiden Aufgaben hinsichtlich ihres Potentials zur

kognitiven Ablenkung deutlich unterscheiden. Eine mögliche Ursache für diesen fehlenden Unterschied in den Trefferraten könnte die zu geringe kognitive Belastung durch die Wahlreaktionsaufgabe sein. Damit wäre die Wahlreaktionsaufgabe in der hier verwendeten Form nicht sensitiv genug, um die Unterschiede zwischen den Zusatzaufgaben zu erfassen. Eine Möglichkeit, um die Beanspruchung durch die Wahlreaktionsaufgabe zu erhöhen, könnte sein, die Anzahl der Kontextwechsel zu erhöhen. Zum Zeitpunkt eines Kontextwechsels ist die kognitive Belastung durch die Wahlreaktionsaufgabe am höchsten, da ein neuer Kontext enkodiert werden muss und der irrelevante Kontext entfernt werden muss. Das bedeutet, es müssen neue Reiz-Reaktions-Verbindungen etabliert und die bisherigen gehemmt werden. Darüber deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass das Aufrechterhalten eines Kontexts weniger Ressourcen beansprucht. Ein Vergleich der Trefferraten in Abhängigkeit von der Anzahl der visuellen Zielreize seit dem letzten Kontextreiz ergab keinen Abfall der Leistung mit zunehmender Anzahl.

Aus diesen Gründen wurde in nachfolgenden Experimenten die Häufigkeit der Kontextwechsel deutlich erhöht, um die Belastung durch die Wahlreaktionsaufgabe zu erhöhen. Außerdem scheinen die Reaktionen unmittelbar nach einem Kontextwechsel besonders sensitiv für die Erfassung von kognitiver Ablenkung zu sein.

## 5. Schlussfolgerungen

Wir stellten in diesem Beitrag ein verstehensbasiertes Modell der Generierung und Aufrechterhaltung von *Situation Awareness* vor. Ziel dieses Modells ist es, das von Endsley (1995b) formulierte Modell näher zu spezifizieren und die kognitiven Prozesse detaillierter zu beschreiben, die am Aufbau von *Situation Awareness* beteiligt sind. Dabei wurde auf Theorien, Kintschs (1998) *Construction-Integration Theory* und Norman und Shallice' (1986) Theorie der Handlungsauswahl, zurückgegriffen, die bereits über eine breite empirische Basis verfügen. Ähnlich wie Adams, Tenney und Pew (1995) nehmen wir an, dass der Aufbau von *Situation Awareness* ein Verstehensprozess ist, der zu einer mentalen Repräsentation der Bedeutung von Situationselementen und der gesamten Situation führt. Dieses Situationsmodell stellt die Grundlage für die Auswahl von Handlungen dar, deren Ausführung wiederum die aktuelle Situation verändert und zu einer Aktualisierung des Situationsmodells führen muss. Dieses verstehensbasierte Modell von *Situation Awareness* beschreibt eine Reihe von Prozessen, die dem Aufbau und der Auswahl von Handlungen zugrunde liegen. Dabei wird die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses als zentrale Ressource deutlich. Es wird auch ersichtlich, wie sich zusätzliche Belastungen durch gleichzeitig während der Fahrt ausgeführte Aufgaben auf die *Situation Awareness* auswirken können. Dieses Modell bildete die Grundlage für die Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung visueller und kognitiver Ablenkungspotentiale durch Zusatzaufgaben. Die grundlegende Idee hinter diesem Verfahren ist, dass die Kenntnis über die visuelle und kognitive Belastung durch Zusatzaufgaben Vorhersagen über die Auswirkungen dieser Aufgaben auf *Situation Awareness* erlaubt. In einem ersten Experiment wurde die Sensitivität dieses Verfahrens gegenüber visueller und kognitiver Ablenkung getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass das verwendete Verfahren zwar in der Lage zu sein scheint, das visuelle Ablenkungspotential einer Aufgabe bewerten zu können, die kognitive Ablenkung durch diese Aufgabe aber nur unzureichend erfasst. Ziel weiterer Experimente ist die Weiterentwicklung dieses Verfahrens, so dass es auch gelingt, kognitive Ablenkung reliabel zu erfassen. Schließlich sollen die

Bewertungen von realistischen Aufgaben durch dieses Verfahren mit den tatsächlichen Auswirkungen dieser Aufgaben auf das Fahrverhalten im Fahrsimulator und auf das Fahrsituationsbewusstsein der Fahrer verglichen werden. Besonders von diesem letzten Vergleich wird es entscheidend abhängen, inwieweit dieses Verfahren im Gestaltungsprozess von Zusatzaufgaben für das Fahrzeug eingesetzt werden kann. Wenn es gelingt, aus den Bewertungen dieses Verfahrens Vorhersagen über die Auswirkung der bewerteten Aufgaben auf *Situation Awareness* zu machen, könnte dieses Verfahren eingesetzt werden, um Prototypen von Systemen zum Beispiel gegeneinander zu testen, um zu einer relativen Bewertung der Prototypen zu kommen. Dies würde erlauben, bereits früh im Gestaltungsprozess jene Alternativen auszusortieren, die wahrscheinlich zu wesentlichen Beeinträchtigungen von *Situation Awareness* führen, wenn der Fahrer sie während des Fahrens ausführt.

## 6. Literatur

- Adams, M.J.; Tenney Y.J. & Pew, R.W. (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex systems. *Human Factors* 37, 85-104.
- Baumann, M.; Rösler, D.; Jahn, G. & Krems, J.F. (2003). Assessing driver distraction using occlusion method and peripheral detection task. In: H. Strasser; K. Kluth; H. Rausch & H. Bubb (Hrsg.). *Quality of work and products in enterprises of the future*, 53-56. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Doane, S.M. & Sohn, Y.W. (2000). ADAPT: A predictive cognitive model of user visual attention and action planning. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 10, 1-45.
- Dobbs, A.R. & Rule, B.G. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology & Aging* 4, 500-503.
- Endsley, M.R. (1995a). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* 37, 65-84.
- Endsley, M.R. (1995b). Towards a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* 37, 32-64.
- Groeger, J. (2000). *Understanding driving*. Hove: Psychology Press.
- Gugerty, L. & Falzetta, M. (2005). Using an event-detection measure to assess drivers' attention and situation awareness. *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica: Human Factors & Ergonomics Society.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Mannes, S.M. & Kintsch, W. (1991). Routine computing tasks: Planning as understanding. *Cognitive Science* 15, 305-342.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: Freeman.

- Norman, D.A. & Shallice T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In: R.J. Davidson; G.E. Schwartz & D. Shapiro (Hrsg.). *Consciousness and self-regulation. Volume 4*, 1-18. New York: Plenum Press.
- Pritchett, A.R.; Hansman, R.J. & Johnson, E.N. (1996). Use of testable responses for performance-based measurement of situation awareness. *Proceedings of the International Conference on Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness*. Daytona Beach: Embry-Riddle University Press.
- Rousseau, R.; Tremblay, S. & Breton, R. (2004). Defining and modeling situation awareness: A critical review. In: S. Banbury & S. Tremblay (Hrsg.). *A cognitive approach to situation awareness: Theory and application*, 3-21. Aldershot: Ashgate & Town.
- Schmalhofer, F. & Tschaitshian, B. (1993). The acquisition of a procedure schema from text and experiences. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schneider, W.; Eschman, A. & Zuccolotto, A. (2002a). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Schneider, W.; Eschman, A. & Zuccolotto, A. (2002b). *E-Prime Reference Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Shinoda, H.; Hayhoe, M. & Shrivastava, A. (2001). What controls attention in natural environments? *Vision Research* 41, 3535-3546.
- van Winsum, W.; Martens, M.H. & Herland, L. (1999). *The effects of speech versus tactile driver support messages on workload, driver behaviour and user acceptance* Report No. TM-99-C043. Soesterberg, Netherlands: TNO Human Factors.

# Fehleinschätzung von Zeit als Ursache für Ablenkungseffekte beim Fahren: Bedeutung von Menüstruktur und visuellen Anforderungen

INGO TOTZKE, STEFANIE SCHOCH & HANS-PETER KRÜGER

*Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW), Universität Würzburg*

*Schlüsselwörter: Ablenkungseffekte, Fahrerinformationssysteme, Menüstruktur, Zeitschätzung, Zeitreproduktion*

## 1. Theoretischer Hintergrund

### 1.1 Zeiterleben als Ursache von Interferenzen beim Fahren

Aufgrund einer Abwendung der Aufmerksamkeit kann die Bedienung von Fahrerinformationssystemen (FIS) während der Fahrt zu Einbußen in der Fahrsicherheit führen: Es kommt zu Interferenzen zwischen Fahrzeugführung und FIS-Bedienung. Als Erklärungsansatz für solche Interferenzeffekte wird regelhaft auf Kapazitäts- oder Ressourcenmodelle zurückgegriffen, die z.B. von einer begrenzten kognitiven Verarbeitungskapazität (Broadbent, 1958) oder einer unspezifischen Ressource (Kahneman, 1973) bzw. mehreren spezifischen Ressourcen (Wickens & Hollands, 2000) ausgehen. Diese werden von zu bearbeitenden Aufgaben (hier: Fahrzeugführung und FIS-Bedienung) beansprucht bzw. um deren Anteile wird konkurriert. Je nach Anforderung der zu bewältigenden Aufgaben kann mehr Kapazität oder Ressource zur Verfügung gestellt und die Leistung bis zu einem bestimmten Grad gesteigert werden. Gehen die Anforderungen über diesen Punkt hinaus, ist keine Erhöhung der Leistung mehr möglich und Leistungseinbußen sind zu erwarten.

Andere Modelle wiederum gehen davon aus, dass Interferenzen zwischen zwei parallel zu bearbeitenden Aufgaben eine Folge eines nicht-optimalen Time-Sharings sind. Ein solches Time-Sharing bezieht sich auf die effiziente Zeit- bzw. Aufmerksam-

keitsaufteilung zwischen zwei Aufgaben, was z.B. durch ein Training dieser Aufgaben unter Dual-Task Bedingungen ermöglicht wird (z.B. Damos & Wickens, 1980; Detweiler & Schneider, 1991; Gabriel & Burrows, 1968; Schumacher, Seymour, Glass, Fencsik, Lauber, Kieras & Meyer, 2001).

Als Erweiterung typischer Time-Sharing Ansätze zur Erklärung von Interferenzen zweier Tätigkeiten bietet sich das Zeiterleben einer Person an<sup>1</sup>. Häufig wird versucht, dieses Phänomen über kognitive Prozesse, hauptsächlich Aufmerksamkeits- bzw. Gedächtnisprozesse, zu erklären (Block & Reed, 1978; Ornstein, 1969). Demgegenüber wird die Bedeutung biologischer Prozesse betont, indem üblicherweise auf eine interne, aus einem Schrittmacher bestehende Uhr und zusätzliche Komponenten für zeitbezogenes Verhalten verwiesen wird (Creelman, 1962; Rammsayer & Ulrich, 2001). Auch Wechselwirkungen zwischen kognitiven und biologischen Prozessen, also ein Zusammenspiel von Schrittmacher und Gedächtnis- bzw. Aufmerksamkeitsprozessen, werden vermutet (Zakay & Block, 1996).

Für die Leistung in einer Aufgabe spielen insbesondere sog. prospektive Zeiturteile eine Rolle: Die Person weiß bereits im Voraus, dass sie die Dauer einer bestimmten Zeitperiode schätzen muss. Die Entstehung prospektiver Zeiturteile wird zumeist über Aufmerksamkeitsmodelle erklärt, die die Wichtigkeit der Aufmerksamkeitslenkung auf die Verarbeitung zeitlicher Informationen betonen. So wurde gezeigt, dass prospektive Zeiturteile bei einer vermehrten Verarbeitung nicht-zeitlicher Informationen kürzer werden (z.B. Hicks, Miller & Kinsbourne, 1976; Macar, Grondin & Casini, 1994; Zakay, Block & Tsal, 1999). Bei gleichzeitiger Bearbeitung zeitlicher und nicht-zeitlicher Aufgaben nimmt die subjektive Dauer von Zeitintervallen mit höherer Schwierigkeit der nicht-zeitlichen Aufgabe ab bzw. die objektiv vergangene Zeit wird unterschätzt. Dies hat Bedeutung für die Planung und Ausführung motorischer und mentaler Aufgaben, da eine Kontrolle und Regulation zeitlicher Aspekte für das Aufrechterhalten einer optimalen Leistung unabdingbar ist (Zakay et al., 1999).

Davon abzugrenzen sind sog. retrospektive Zeiturteile, bei denen Personen während der Aufgabebearbeitung nicht wissen, dass sie später eine bestimmte Zeitdauer beurteilen sollen. Diesem Paradigma liegen kognitive bzw. gedächtnisbasierte Erklärungsmodelle zugrunde, bei denen die subjektive Zeitdauer als Nebenprodukt der allgemeinen Informationsverarbeitung angenommen wird. Zahlreiche Studien belegen, dass retrospektive Zeiturteile länger werden, wenn zunehmend mehr und komplexere nicht-zeitliche Informationen verarbeitet werden (z.B. Block, 1974; Ornstein, 1969). Auch die Häufigkeit der enkodierten Veränderungen kann retrospektive Zeiturteile beeinflussen: So werden beispielsweise Zeitintervalle für Lernlisten mit Buchstaben und Zahlen retrospektiv länger eingeschätzt als Zeitdauern für Lernlisten, die ausschließlich aus Wörtern oder Buchstaben bestehen (Carmichael, 1997).

Zusammenfassend bedeutet dies, dass das Erleben von Zeit von der Schwierigkeit einer gleichzeitig ausgeführten nicht-zeitlichen Tätigkeit und dem Grad an Aufmerksamkeit, der auf diese gerichtet wird, beeinflusst wird. Entsprechende Studien werden dabei regelhaft unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Nach Fraisse (1984) ist im engeren Sinne zu trennen zwischen einem Empfinden von Zeit (engl.: „time perception“ oder „duration perception“) und einer Schätzung von Zeit (engl.: „time estimation“ oder „duration estimation“), sofern das Gedächtnis eine Rolle spielt. Diese Unterscheidung wird von den meisten Autoren jedoch nicht getroffen, sondern es wird allgemein von Zeiterleben bzw. Beurteilung von Zeitdauern gesprochen.

Studien in alltagsnahen Handlungskontexten wurden bislang nur vereinzelt durchgeführt (z.B. Geiger, Schulze-Kissing, van der Meer & Urbas, 2004; Liu & Wickens, 1994). Wiegand (1985) untersuchte beispielsweise das Zeitempfinden beim Autofahren: In einem Feldversuch sollten 20-Sekunden-Intervalle während einer LKW-Fahrt auf einer Teststrecke (ohne Verkehr) bzw. in einem verkehrsbelasteten Stadtbezirk geschätzt werden. Es ergab sich, dass die mittleren geschätzten Dauern weder von den Anforderungen durch die Fahraufgabe noch von der Erfahrung der Fahrer abhängt. Demgegenüber waren die Dispersionsmaße der Zeitschätzung für unerfahrene Fahrer allgemein größer, während für erfahrene Fahrer nur bei der Stadtfahrt größere Dispersionsmaße als auf der verkehrsfreien Betonbahn auftraten.

## **1.2 Bedeutung der Menüstruktur**

Gestaltungsmerkmale des FIS haben einen erheblichen Einfluss auf die Schwierigkeit der FIS-Bedienung und können daher das Zeiterleben der Fahrer beeinflussen. Speziell die Menüstruktur stellt ein schwierighkeitsrelevantes Merkmal dar: Sie beeinflusst sowohl die Geschwindigkeit und Qualität der Systembedienung als auch das Systemverständnis und -wissen (für eine Übersicht siehe Norman, 1991). Für die Ausgestaltung von Menüsystemen werden im Allgemeinen breite Menüs bevorzugt, obwohl sie pro Menüebene längere Such- und erhöhte Reaktionszeiten bedingen. Über alle Menüebenen hinweg scheint sich dies günstig auszuwirken, zumal bei größerer Menütiefe vermehrt Orientierungsprobleme auftreten können (z.B. Kiger, 1984; Larson & Czerwinski, 1998; Snowberry, Parkinson & Sisson, 1983).

Die genannten Studien verwenden jedoch ausschließlich Single-Task Situationen, eine Analyse der Auswirkungen von der Menüstruktur unter Dual-Task Bedingungen fehlt weitgehend. Rauch, Totzke und Krüger (2004) zeigten beispielsweise, dass sich in einer Dual-Task Situation (hier: Trackingaufgabe und FIS-Bedienung) für breite Menüs schlechtere Tracking- und Bedienleistungen sowie ein ungünstigeres Blickverhalten ergeben. Breite Menüsysteme sind demzufolge unter Dual-Task Bedingungen negativ zu bewerten. Die Autoren begründen dies mit der größeren, pro Menüebene dargebotenen Informationsmenge bei breiten Menüs und den daraus resultierenden höheren Anforderungen an den Fahrer. Dies führt in Dual-Task Situationen zu einer schlechteren Verschränkbarkeit mit der Primäraufgabe. Im tiefen Menü kann hingegen ein günstiger Aufgabenwechsel von den Fahrern realisiert werden, es ergeben sich geringere Interferenzen zwischen FIS-Bedienung und Fahrzeugführung.

## **1.3 Fragestellungen**

Zur Erklärung von Interferenzen von FIS-Bedienung und Fahrzeugführung wird in dieser Studie auf das Zeiterleben einer Person zurückgegriffen: Es wird angenommen, dass bei gleichzeitiger Bedienung von FIS während der Fahrzeugführung die Dauer der einzelnen Bediensequenzen unterschätzt wird und dadurch die einzelnen Bediensequenzen zu lange dauern. Dadurch wird die Aufmerksamkeit der Fahrer an die FIS-Bedienung gebunden und die Fahraufgabe vernachlässigt. Werden die Fahrer später nach Aufgabenbearbeitung gefragt, wie lange die FIS-Bedienungen während der Fahrzeugführung dauerten, werden die Dauern der Zeitintervalle aufgrund der Menge und Komplexität der Informationen hingegen überschätzt.

Dieser Effekt soll stärker für die Bedienung von breiten Menüsystemen sein, da von diesen höhere Anforderungen an den Fahrer ausgehen als von tiefen Menüsystemen:



Tiefe Menüstrukturen bedingen nicht nur geringere Interferenzen zwischen FIS-Bedienung und Fahrzeugführung als breite Menüstrukturen. Zudem sind einzelne Bediensequenzen kürzer als bei breiten Menüs, die objektiven Zeitdauern werden für die Bedienung des tiefen Menüsystems im Nachhinein weniger stark überschätzt.

## 2. Methodisches Vorgehen

### 2.1 Beschreibung der Fahraufgabe

An den Fahrparcours dieser Studie wurden zwei Anforderungen gestellt:

- (1) Vergleichbarkeit der Fahrsituation
- (2) Realisierung sicherheitskritischer Situationen

Zahlreiche Studien zeigen, dass Fahrer bei Einführung von Nebenaufgaben (z.B. Gespräche mit Beifahrern, Mobiltelefonieren, Bedienung von FIS/FAS) über die Fahrgeschwindigkeit die Schwierigkeit der Fahraufgabe selbstständig einregeln, um ein adäquates Schwierigkeitsniveau zu erzielen. So wählen Fahrer bei einer Nebentätigkeit während der Fahrt geringere Geschwindigkeiten (für eine Übersicht siehe Totzke & Bengler, im Druck). Ältere Fahrer regeln bei einer vergleichbaren Nebenaufgabe beispielsweise geringere mittlere Fahrgeschwindigkeiten ein als jüngere Fahrer (Totzke, Hofmann & Krüger, 2005). Um dennoch vergleichbare Bedingungen für die Probanden herzustellen, wurde in dieser Studie ein Tempomat eingeführt. Hierdurch wurde eine Richtgeschwindigkeit von 100 km/h auf einem Landstraßenparcours gehalten, der aus einer 32 km langen, relativ leicht zu fahrenden Landstraße mit Kurven, Gegenverkehr und vorausfahrendem Fahrzeug bestand. Gegenverkehr und vorausfahrende Fahrzeuge fuhren mit Geschwindigkeiten von ca. 100 km/h.

Damit sich die Fahrer nicht ausschließlich auf die FIS-Bedienung konzentrierten, wurden sicherheitskritische Situationen im Fahrparcours realisiert. Hierzu war das jeweils vorausfahrende Fahrzeug derart mit dem Ego-Fahrzeug verknüpft, dass es einen Abstand von etwa 65 m hielt und in unregelmäßigen Abständen Bremsmanöver realisierte. Mit einer Verzögerung von 3 bis 4 m/s<sup>2</sup> bremste das Führungsfahrzeug bis auf ca. 40 km/h ab und beschleunigte nach einigen Sekunden wieder auf 100 km/h. Um eine Beinahekollision zu vermeiden, musste der Proband über eine Betätigung des Bremspedals den Tempomat übersteuern und die Fahrgeschwindigkeit verringern. Sobald nicht mehr manuell gebremst wurde, beschleunigte der Tempomat automatisch bis zum Erreichen der Zielgeschwindigkeit.

Aufgabe der Probanden war es, sich an die Straßenverkehrsordnung zu halten, auf die Spur- und Abstandshaltung zu achten, keine Fahrfehler zu begehen sowie das jeweilige Führungsfahrzeug nicht zu überholen. Die Probanden sollten diesen Fahrparcours zweimal durchfahren, um zum einen die FIS-Bedienung während der Fahrt zu erlernen und zum anderen mögliche aus der Menüstruktur resultierende Unterschiede in Fahrzeugführung und FIS-Bedienung aufzuzeigen (sog. Manipulation Check, siehe Abschnitt 3.1). Jede Fahrt dauerte ca. 15 min.

Zusätzlich wurde eine Fahrt zur Zeitreproduktion eingeführt (siehe Abschnitt 2.3), in der die Probanden auf einer geraden Strecke mit Tempomat (Geschwindigkeit 100 km/h) fahren sollten. Im Parcours trat Gegenverkehr auf und es wechselten sich vo-

rausfahrende Fahrzeuge ab. In dieser Fahrt bremste das jeweilige Führungsfahrzeug aber nicht ab (d.h. der Proband musste während dieser Fahrt nicht bremsen). Die Fahrt dauerte ca. 15 min.

Der Versuch wurde im Fahrsimulator des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW; siehe Abbildung 1; für eine Beschreibung siehe [www.wivw.de](http://www.wivw.de)) durchgeführt. Daten wurden mit einem Messtakt von 100 Hz aufgezeichnet. Zur Beschreibung der aus der Einführung der FIS-Bedienung resultierenden Veränderung der Spurhaltung und des Lenkverhaltens werden im Folgenden die Standardabweichung des Gierwinkelfehlers [Grad] und die Standardabweichung der Lenkgeschwindigkeit [Grad] herangezogen. Die Einführung eines Tempomaten zur Geschwindigkeitsregelung führt dazu, dass vor allem die Reaktionen der Probanden auf die Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs zur Bewertung der längsregulatorischen Aktivität heranzuziehen sind. Hierzu wird auf die maximale Bremspedalbetätigung [0...1] und den minimalen Abstand zum Führungsfahrzeug [m] eingegangen. Für eine Prüfung der Auswirkungen des Menüsystems auf die Fahrzeugführung wurde auf zweifaktorielle Split-Plot Varianzanalysen mit within-Faktor „Fahrt“ (Fahrt 1 vs. Fahrt 2) und between-Faktor „Menü“ (breit vs. tief) zurückgegriffen.



Abbildung 1: Ansicht des Fahrsimulators (links) und Screenshot einer Fahrsituation (rechts). Für weitere Informationen zur Fahrsimulation siehe [www.wivw.de](http://www.wivw.de).

## 2.2 Beschreibung des Menüsystems

Während der Fahrten sollten die Probanden ein Menüsystem bedienen, sofern die aktuelle Fahrsituation es zuließ und kognitive Kapazitäten frei wären. Zur Variation der Schwierigkeit des Menüsystems wurden zwei Varianten verwendet: 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 ( $4 \times 2 \times 2 \times 4$  System; siehe Abbildung 2 rechts). Das breite Menü setzte sich aus zwei Ebenen mit jeweils acht Optionen zusammen ( $8 \times 8$  System; Menübereiche „Ziele“, „Route“, „Audio“, „TV“, „Anruflisten“, „Text-Mitteilungen“, „Fahrzeugsinstellungen“ und „Fahrzeuginformationen“; siehe Abbildung 2 links). Beide Menüs bestanden aus 64 Funktionen (Für eine umfassende Beschreibung der Menüsysteme siehe Rauch et al., 2004).

Die Probanden sollten im Menüsystem möglichst schnell und präzise vorgegebene Menüfunktionen ansteuern (sog. Aufgaben). Die Navigation innerhalb des Systems erfolgte über einen Joystick. 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 anzusteuende Funktion erneut genannt wurde. Im Anschluss musste die richtige Menüfunktion ausgewählt werden. Die Probanden konnten während der Fahrten so viele Aufgaben bearbeiten, wie sie wollten. Das Menüsystem wurde über ein Display in der oberen Mittelkonsole des Fahrzeugs dargeboten.

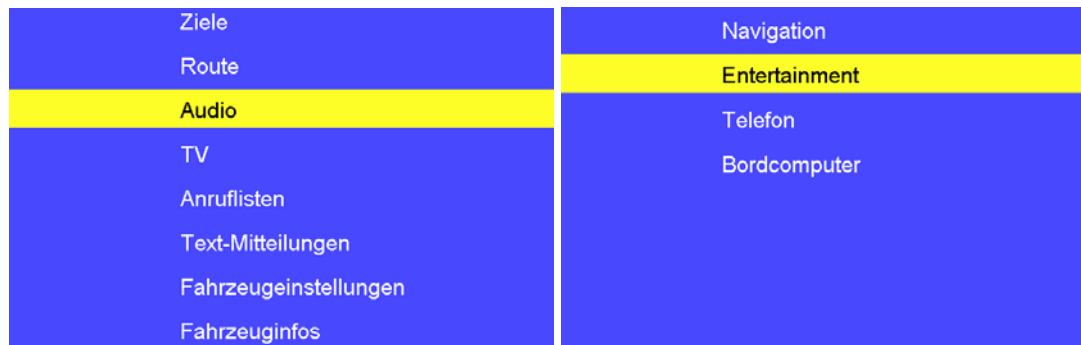


Abbildung 2: Screenshots der Menüsysteme. Abgebildet ist jeweils die oberste Ebene des breiten (links) und tiefen (rechts) Menüsystems.

Um die Dauer einer Bediensequenz zuverlässig zu bestimmen, mussten die Probanden eine Joysticktaste während der gesamten Bedienhandlung drücken. Hierdurch wurde der Bildschirm jeweils angeschaltet und das Menüsystem wurde dargeboten. Nach Loslassen der Joysticktaste wurde der Bildschirm wieder gelöscht und die Probanden sollten keine weiteren Bedienhandlungen tätigen. Das Drücken der Joysticktaste wurde in früheren Studien als nicht hinderlich bewertet.

Das Menüsystem läuft über einen eigenständigen PC, der das System berechnet und Informationen zur aktuellen Position im Menü sowie zur Art und Geschwindigkeit der Bedienhandlung aufzeichnet (Messtakt: 100 Hz). Um die Dauern einer Bediensequenz bzw. die Bearbeitungsdauer der Aufgaben zu betrachten, wird auf nachstehende Parameter eingegangen: Betätigung der Joysticktaste [Dauer in s], bearbeitete Aufgaben [Anzahl] und Gesamtbearbeitungszeit (Gesamte Zeitdauer während einer Fahrt, die die Probanden sich mit der Bearbeitung der gestellten Aufgaben beschäftigen [s]). Die Ergebnisse wurden mittels zweifaktorieller Split-Plot Varianzanalysen mit within-Faktor „Fahrt“ (Fahrt 1 vs. Fahrt 2) und between-Faktor „Menü“ (breit vs. tief) geprüft. Auf eine Darstellung qualitativer Aspekte der Menübedienung wird an dieser Stelle verzichtet: Es ergeben sich keine Unterschiede im Parameter „Überflüssige Wegstrecke“ als Parameter der Bediengüte (Verhältnis tatsächlich gegangener Schritte zu notwendigen Schritten zur Bearbeitung einer Aufgabe).

### 2.3 Beschreibung der Zeitreproduktionsaufgabe

Um zu untersuchen, ob die aus der FIS-Bedienung während der Fahrt resultierenden Leistungseinbußen auf eine Fehleinschätzung der Zeit zurückgeführt werden können, sollten die Probanden in einer abschließenden Fahrt vorgegebene Zeitintervalle reproduzieren. In dieser sog. Zeitreproduktion (engl. „reproduction method“; Block, Hancock & Zakay, 2000) wird den Probanden ein Zeitintervall von bestimmter Länge präsentiert, das von ihnen anschließend selbstständig hergestellt werden soll. Eine solche Zeitreproduktion verlangt, eine bereits erlebte Zeitdauer zu schätzen und anschließend ohne Übersetzung in konventionelle Zeiteinheiten (z.B. Sekunden oder

Minuten) zu reproduzieren. Es sollen zwei erlebte Dauern (hier: vorgegebene Tondauer und reproduziertes Zeitintervall) zueinander in Beziehung gesetzt werden<sup>2</sup>.



Abbildung 3: Schematischer Ablauf der Zeitreproduktionsaufgabe (Ausschnitt einer Zeitsequenz). Dunkelblauer Bereich: vorgegebene Tondauer, umrahmter Bereich: 10s-Intervall zur Reproduktion des Zeitintervalls mit vorgegebener Tondauer (dunkelblauer Bereich) und eines zu lange dauernden reproduzierten Zeitintervalls (hellblauer Bereich).

Hierfür wurden Zeitintervalle während der Fahrt über Töne, einem mit einer Okarina gespielten Fis der 5. Oktave, vorgegeben. Die Tondauern betragen (in Anlehnung an typische minimale bzw. maximale Bedienzeiten von FIS) 2.0s, 3.5s oder 5.0s und wurden dem Fahrer in einer zufälligen Reihenfolge präsentiert. In Abbildung 3 wird dies durch den dunkelblauen Bereich außerhalb des umrahmten Feldes angegeben. Während der Tonvorgabe sollte das Menüsystem nicht bedient werden. Jedem Ton folgte ein Intervall von 10s Dauer, in dem kein Ton zu hören war (siehe umrahmtes Feld in Abbildung 3). Dieses Intervall sollte zur Zeitreproduktion genutzt werden, indem das Menüsystem sinnvoll zu bedienen war (d.h. vorgegebenen Aufgaben sollten bearbeitet werden), und zwar jeweils möglichst genau so lange, wie der vorangegangene Ton gedauert hatte. Dazu sollten die Probanden den Bildschirm über die Joysticktaste (siehe Abschnitt 2.2) einschalten, wenn sie mit der Bedienung des Menüsystems begannen, bzw. ausschalten, wenn die Zeit abgelaufen war und sie mit der Bedienung des Menüs aufhörten. Abbildung 3 veranschaulicht dies im umrahmten Feld: Der dunkelblaue Bereich kennzeichnet die Dauer des vorgegebenen Zeitintervalls, der anschließende hellblaue Bereich das möglicherweise zu lange reproduzierte Intervall. Pro Fahrt wurden 60 Töne vorgegeben.

Bei dieser Aufgabe ging es nicht darum, viele Aufgaben bei der Menübedienung zu bearbeiten, sondern darum, möglichst präzise das vorgegebene Zeitintervall wiederzugeben. Die Probanden waren also angewiesen, mit der Bedienung aufzuhören und die vorgegebene Aufgabe erst nach dem nächsten dargebotenen Ton weiterzuführen. Es sollten keine Techniken angewendet werden, mit denen die Probanden sich Anhaltspunkte für die Zeitdauern schaffen konnten (z.B. Mitzählen oder Mitzklopfen mit den Fingern). Die Probanden wurden weder über die Anzahl verschiedener Tondauern noch über die Dauer der einzelnen Töne informiert.

Als Abhängige Variable wird an dieser Stelle einzig die Betätigung der Joysticktaste [Dauer in s] herangezogen. Zur Überprüfung, inwiefern sich die reproduzierten Zeitintervalle vom vorgegebenen Intervall unterscheiden, wurden für jede Zeitdauer Einstichproben-t-Tests verwendet. Unterschiede in Abhängigkeit des Menüsystems wurden zusätzlich über zweifaktorielle Split-Plot Varianzanalysen mit within-Faktor „Ton“ (2.0s vs. 3.5s vs. 5.0s) und between-Faktor „Menü“ (breit vs. tief) geprüft.

<sup>2</sup> Der hier eingesetzte methodische Ansatz wird in Anlehnung an Block et al. (2000) abgegrenzt von typischen Zeitproduktionsaufgaben, bei denen Zeitintervalle mittels konventioneller Zeiteinheiten vorgegeben werden, die vom Probanden anschließend herzustellen sind (Beispiel: „Drücken Sie den Knopf so lange, bis Sie denken, dass 60 Sekunden vergangen sind.“). Klassische Zeitproduktionsaufgaben beinhalten somit den Vergleich von im Gedächtnis gespeicherten Informationen bezüglich konventioneller Zeiteinheiten mit einer erlebten Dauer.

## 2.4 Beschreibung der Zeitschätzaufgabe

Unmittelbar nach Abschluss der Fahrten (bevor die Probanden das Simulatorfahrzeug verließen) wurden die Probanden zusätzlich gefragt, wie lange die vorgegebenen Töne gedauert hatten. In dieser retrospektiven Methode<sup>3</sup> zur verbalen Schätzung von Zeitintervallen (engl. „verbal estimation method“; Block et al., 2000) sollten die objektiven Zeitintervalle mittels konventioneller Zeiteinheiten (Sekunden, Minuten) geschätzt werden. Die Probanden wurden vorher nicht informiert, dass ein solches Urteil abgefragt würde. Da die Tondauern während der Fahrt in einer zufälligen Reihenfolge präsentiert wurden, ist nicht davon auszugehen, dass systematische Reihenfolgeeffekte (z.B. Primacy- oder Recency-Effekte) bei der Beurteilung der Tondauern zu berücksichtigen sind.

Als Abhängige Variable wurden die Urteile der Probanden bezüglich der Dauer der vorgegebenen Töne [s] festgehalten. Sofern die Probanden urteilten, dass drei verschiedene Tondauern vorgegeben wurden, wurden diese Urteile sofort weiterverwendet. Gaben die Probanden hingegen an, dass dies mehr als drei verschiedene Tondauern waren (z.B. fünf Tondauern), wurden für die Auswertung das Urteil für die kürzeste und längste Tondauer herangezogen sowie der Mittelwert aus den geschätzten Dauern der verbleibenden Töne (z.B. Mittelwert der Tondauern der Töne 2 bis 4). Inferenzstatistisch wurde auf zweifaktorielle Split-Plot Varianzanalysen mit within-Faktor „Ton“ (2.0s vs. 3.5s vs. 5.0s) und between-Faktor „Menü“ (breit vs. tief) zurückgegriffen.

## 2.5 Versuchsdurchführung und -ablauf

Am Versuch nahmen  $N = 24$  Probanden (11 weiblich, 13 männlich) im Alter von 42 bis 70 Jahren ( $m = 54.7$ ,  $sd = 9.7$ ) teil. Die durchschnittliche Fahrpraxis der Probanden betrug 34.1 Jahre ( $sd = 9.1$  Jahre). Alle Probanden stammen aus dem Testfahrerpool des WIVW und wurden im Fahrsimulator ausführlich trainiert (Hoffmann & Buld, 2006). Es wurde speziell auf eine Kohorte älterer Fahrer zurückgegriffen, da bei diesen verstärkt mit Problemen in Fahrsituationen zu rechnen ist, „auf die sie nicht vorbereitet sind ... und wenn sie sich auf wechselnde Aufgaben und sich rasch verändernde Situationen einstellen müssen, die schnelle Entscheidungen und rasches Handeln erfordern“ (Weinand, 1997, S. 12). Je  $n = 12$  Probanden bedienten während der Fahrt das breite (8\*8 Struktur) bzw. tiefe Menüsystem (4\*2\*2\*4 Struktur). Unabhängig vom Menüsystem bearbeiteten die Probanden identische Aufgaben. Die Probanden wurden zufällig einer der Versuchsgruppen zugewiesen.

Jeder Proband absolvierte zunächst eine Basisfahrt, in der sich die Fahrer an den Simulatorparcours und an das Fahren mit dem Tempomat gewöhnten. Anschließend wurde die Bedienung des jeweiligen Menüsystems anhand von 30 Aufgaben im stehenden Fahrzeug geübt. In den Fahrten 1 und 2 sollte das breite bzw. tiefe Menüsystem während der Fahrt (mit Tempomat) bedient werden. In einer abschließenden Fahrt wurde die Zeitreproduktionsaufgabe eingeführt, in der die Probanden vorgege-

---

<sup>3</sup> Definitorisch liegt hier ein Grenzfall zu prospektiven Zeitschätzungen vor: Zwar wird durch die vorangegangene Zeitreproduktionsaufgabe die Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung zeitlicher Information gelenkt (was einem prospektiven Paradigma entspräche). Jedoch ist den Probanden vorher nicht bekannt, dass nach Beendigung der Aufgabe eine Zeitschätzaufgabe mit Umsetzung einer erlebten Dauer in konventionelle Zeiteinheiten folgt. Da davon auszugehen ist, dass der Zeitschätzaufgabe anders als der Zeitreproduktionsaufgabe Gedächtnisprozesse zugrunde liegen, wird im Folgenden von einem retrospektiven Paradigma ausgegangen (Block et al., 2000).

bene Tondauern über die Bedienung des Menüsystems reproduzieren sollten. Danach wurden die Probanden um ihr Urteil gebeten, wie lange die vorgegebenen Tondauern waren. Sie wurden vorher nicht informiert, dass ein solches Urteil abgefragt würde. Der Versuch dauerte ca. 120 min.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Manipulation Check: Auswirkungen der Menüstruktur

Zuerst ist zu prüfen, inwiefern sich tatsächlich Unterschiede in den Bediensituationen des breiten bzw. tiefen Menüsystems sowohl in der Fahrzeugführung als auch bei der Menübedienung ergeben. Es wird deutlich, dass auf Seiten der Menübedienung in Fahrt 1 zunächst im tiefen und im breiten Menü vergleichbar viele Aufgaben bearbeitet werden (siehe Abbildung 4 links). In Fahrt 2 werden im tiefen Menü mehr Aufgaben bearbeitet (es tritt ein Übungseffekt auf), im breiten Menüsystem kommt es zu keiner diesbezüglichen Leistungssteigerung (HE Fahrt,  $F(1, 22) = 7.095$ ,  $p = .014$ ; Wechselwirkung Fahrt \* Menü,  $F(1, 22) = 4.315$ ,  $p = .050$ ). Übereinstimmend hierzu werden die vorgegebenen Aufgaben im breiten bzw. tiefen Menü in Fahrt 1 vergleichbar lange bearbeitet, in Fahrt 2 wird hingegen beim tiefen Menü deutlich mehr Zeit auf die Bearbeitung der Nebenaufgabe verwendet als beim breiten Menü (WW Fahrt \* Menü,  $F(1, 22) = 6.270$ ,  $p = .020$ , HE Fahrt,  $F(1, 22) = 1.080$ ,  $p = .310$ ; HE Menü:  $F(1, 22) = 2.279$ ,  $p = .145$ ; siehe Abbildung 4 rechts).

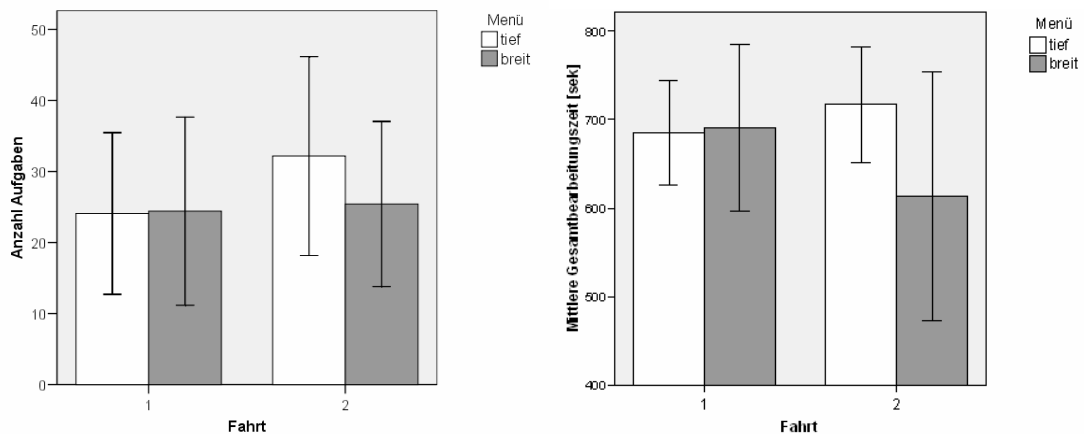


Abbildung 4: Anzahl bearbeiteter Aufgaben (links) und Gesamtbearbeitungsdauer (rechts) für die Menüsysteme („tief“ vs. „breit“) über Fahrt-Nr. 1 und 2. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung.

Unabhängig von der Fahrt sind die einzelnen Bediensequenzen, erfasst über die Betätigung der Joysticktaste, für das tiefe Menü marginal signifikant geringer als für das breite Menü (HE Menü,  $F(1, 22) = 3.591$ ,  $p = .070$ ; siehe Abbildung 5). Tendenziell nehmen die Dauern der Bediensequenzen von Fahrt 1 auf Fahrt 2 ab (HE Fahrt,  $F(1, 22) = 2.572$ ,  $p = .120$ ). Hier zeigt sich ein geringfügiger Übungseffekt im Umgang mit dem Menüsystem.

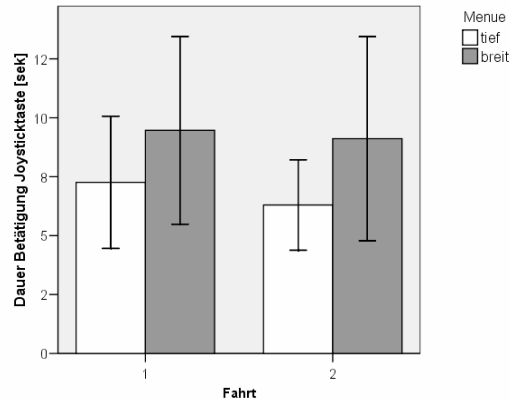


Abbildung 5: Dauer Betätigung Joysticktaste für die Menüsysteme („tief“ vs. „breit“) über Fahrt-Nr. 1 und 2. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung.

Die Menüstruktur hat zudem einen Einfluss auf die Reaktionen der Probanden auf die plötzlichen Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs. Bei Bedienung des breiten Menüs kommt es beispielsweise zu einer stärkeren maximalen Bremspedalbetätigung (HE Menü,  $F(1, 22) = 11.965$ ,  $p = .002$ ; siehe Abbildung 6 links). Es werden bei Fahrten mit tiefem Menüsystem tendenziell größere minimale Abstände zum Führungsfahrzeug eingehalten (HE Menü,  $F(1, 22) = 2.308$ ,  $p = .143$ ; siehe Abbildung 6 rechts).

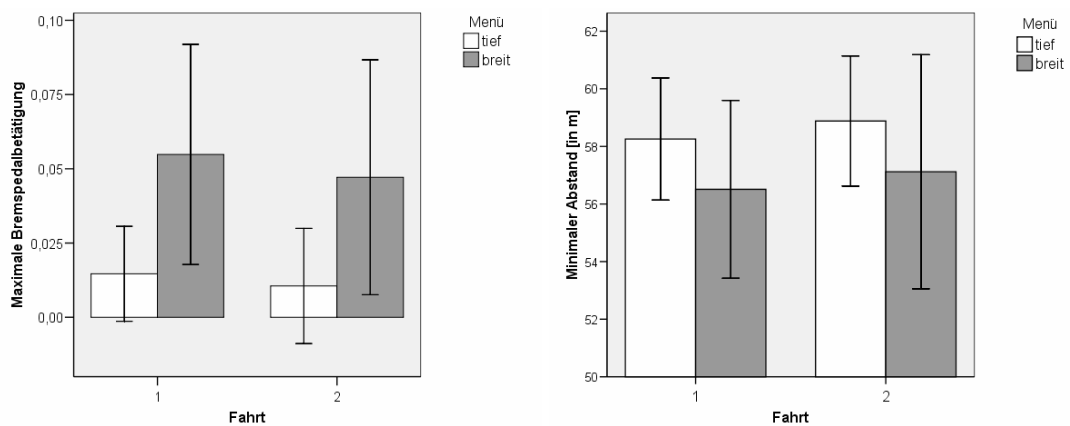


Abbildung 6: Stärke der maximalen Bremspedalbetätigung (links) und minimaler Abstand (rechts) bei Bremsmanövern des Führungsfahrzeugs für die Menüsysteme („breit“ vs. „tief“) für Fahrt 1 und 2. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung.

Die Bedienung des tiefen Menüsystems geht zudem mit einer besseren Spurhaltung bzw. günstigeren Lenkaktivität einher. So sind die Standardabweichung des Gierwinkelfehlers als Maß für die Güte der Spurhaltung (siehe Abbildung 7 links) und die Standardabweichung der Lenkgeschwindigkeit als Maß für die Güte der Lenkaktivität (siehe Abbildung 7 rechts) in der Bedienaufgabe geringer als beim breiten Menüsystem (HE Menü,  $F(1, 22) = 4.036$ ,  $p = .057$  bzw.  $F(1, 22) = 5.735$ ,  $p = .026$ ). Zusätzlich sind an dieser Stelle Übungseffekte im Umgang mit dem Menüsystem zu berücksichtigen: So kommt es von Fahrt 1 zu Fahrt 2 zu einer Verbesserung der Spurhaltung und der Lenkaktivität (HE Fahrt,  $F(1, 22) = 10.236$ ,  $p = .004$  bzw.  $F(1, 22) = 16.341$ ,  $p = .001$ ).

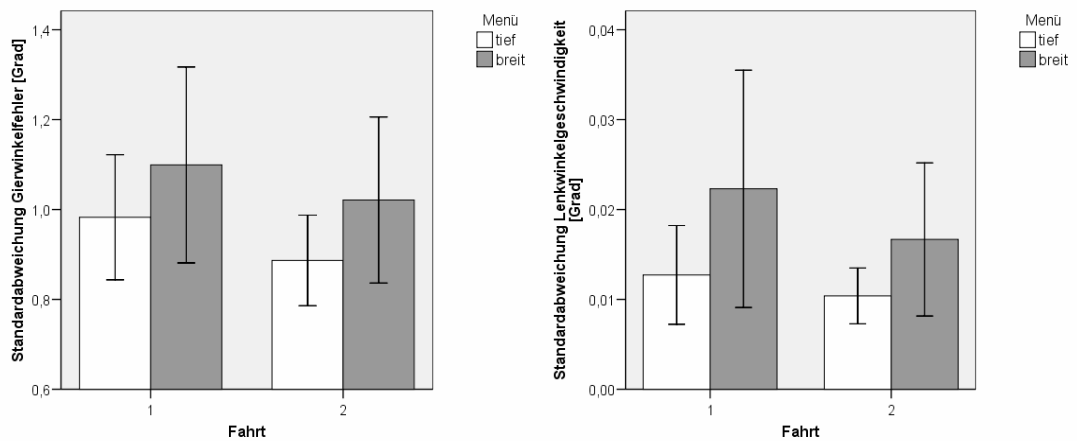


Abbildung 7: Standardabweichung des Gierwinkelfehlers (links) und Standardabweichung der Lenkgeschwindigkeit (rechts) für die Menüsysteme („tief“ vs. „breit“) für Fahrt 1 und 2. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung.

### 3.2 Leistung in Zeitreproduktionsaufgabe

Wie erwartet, führt die Einführung der Menübedienung zu einer Verlängerung der reproduzierten Zeitintervalle im Vergleich zu den vorgegebenen Zeitintervallen (Einstichproben-t-Test; Ton 2.0s:  $t(22) = 9.268, p = .000$ ; Ton 3.5s:  $t(22) = 7.899, p = .000$ ; Ton 5.0s:  $t(22) = 4.849, p = .000$ ): So beträgt die Reproduktionszeit der 2.0s-Tondauer im Durchschnitt 4.52s (Überschätzung um das 2.26fache), der 3.5s-Tondauer im Mittel 5.44s (Überschätzung um das 1.55fache) bzw. der 5.0s-Tondauer 5.96s (Überschätzung um das 1.19fache). Es werden also Befunde eines prospektiven Paradigmas bestätigt: Bei der Ausführung von schwierigen Aufgaben (hier: Menübedienung während der Fahrt) werden zu lange Zeitintervalle reproduziert. Dieser Effekt ist besonders stark für Tondauern von 2.0s Dauer.

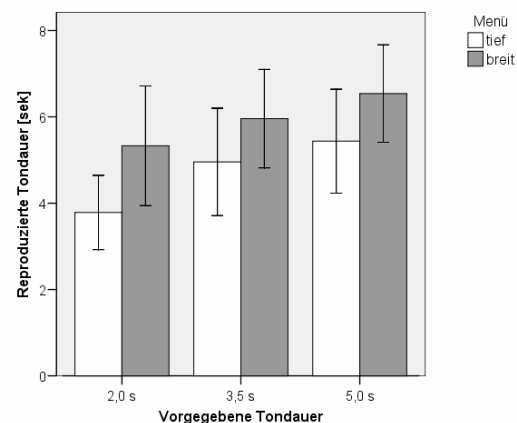


Abbildung 8: Reproduzierte Bediendauern in der Zeitreproduktionsaufgabe in Abhängigkeit von objektiver Tondauer (2.0s, 3.5s und 5.0s) und Menüsysteme („tief“ vs. „breit“). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung.

Dabei sind systematische Unterschiede in Abhängigkeit der Menüstruktur zu berücksichtigen (siehe Abbildung 8): Im breiten Menü werden generell längere Zeitintervalle reproduziert als beim tiefen Menü (zweifaktorielle Split-Plot-Varianzanalyse mit within-Faktor „Ton“ (2.0s vs. 3.5s vs. 5.0s) und between-Faktor „Menü“ (breit vs. tief); HE Menü,  $F(1, 21) = 7.786, p = .011$ ). Dieser Effekt ist unabhängig von der Dauer des vorgegebenen Tons (Wechselwirkung Ton \* Menü,  $F(2, 42) = 1.158, p =$



.324). Schließlich unterscheiden sich die Reproduktionszeiten in Abhängigkeit der vorgegebenen Tondauern: Das reproduzierte 2.0s-Zeitintervall ist kürzer als die reproduzierten 3.5s- bzw. 5.0s-Zeitintervalle (HE Ton,  $F(2, 42) = 29.103$ ,  $p = .000$ ).

### 3.3 Urteile in Zeitschätzaufgabe und Menüstruktur

Nach der Zeitreproduktionsfahrt schätzten die Probanden die Dauer der über die Töne vorgegebenen Zeitintervalle. Die unterschiedlichen Tondauern wirken sich dabei auf die Zeiturteile aus (siehe Abbildung 9): Objektiv länger dauernde Töne werden auch dementsprechend beurteilt (HE Ton,  $F(2, 90) = 138.806$ ,  $p = .000$ ).

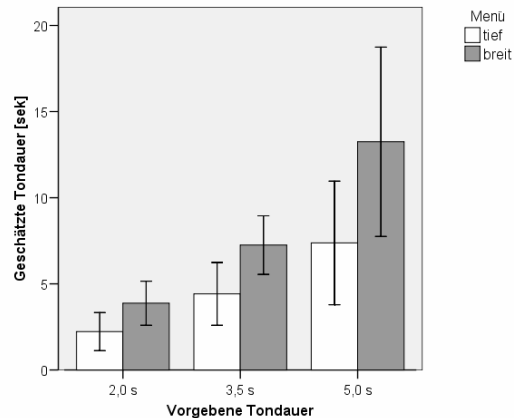


Abbildung 9: Beurteilte Tondauern in Abhängigkeit von objektiver Tondauer (2.0s, 3.5s und 5.0s) und Menüsystem („tief“ vs. „breit“).

Die beurteilten Zeitintervalle mit breitem Menü sind generell größer als mit tiefem Menü (HE Menü,  $F(1, 45) = 18.236$ ,  $p = .000$ ), die geschätzten Zeitintervalle des tiefen Menüs liegen näher an der objektiven Tondauer. Zugleich ist zu beachten, dass vor allem für das breite Menü längere Tondauern stärker überschätzt werden als kürzere Tondauern (Wechselwirkung Ton \* Menü,  $F(2, 90) = 8.183$ ,  $p = .001$ ). Bei einer retrospektiven Schätzung der Dauer von Zeitintervallen kommt es nicht nur zu einer Erhöhung der geschätzten Zeitdauern, wie dies anhand der zitierten Befunde zu erwarten war. Zudem sind die geschätzten Zeiturteile für das breite Menü, von dem höhere Anforderungen an den Fahrer ausgehen, stärker erhöht als für das tiefe Menü.

## 4. Diskussion

Insgesamt ergeben sich anhand dieser Studie folgende Aussagen:

- Die Menüstruktur ist ein schwierigkeitsrelevantes Merkmal von FIS: Tiefe Menüs bedingen aufgrund kürzerer Bediensequenzen geringere Interferenzen zwischen FIS-Bedienung und Fahrzeugführung: Fahrer müssen weniger stark bremsen, um einen größeren minimalen Abstand einzuhalten. Die Spurhaltung und Lenkaktivität ist besser als bei einer Bedienung breiter Menüs.
- Die Bedienung von FIS während der Fahrt führt zur Fehleinschätzung der Zeit: Die Fahrer reproduzieren während der Fahrt längere Zeitintervalle als durch Töne vorgegeben. Dieser Effekt ist besonders stark für kurze Zeitintervalle.

- Die Bedienung breiter Menüs während der Fahrt führt zu stärkeren Veränderungen in der Reproduktion bzw. Schätzung von Zeit:  
Breite Menüs führen bei einer Reproduktion vorgegebener Zeitintervalle zu längeren Bediensequenzen als tiefe Menüs. Wird nach der FIS-Bedienung die Dauer der vorgegebenen Zeitintervalle abgefragt, werden die Dauern der Zeitintervalle für das breite Menü stärker überschätzt als für tiefe Menüs.

Die Ergebnisse dieser Studie untermauern damit eigene Befunde, dass FIS mit tiefer Menüstruktur hinsichtlich ihrer Ablenkungswirkung beim Fahren günstiger zu bewerten sind als FIS mit breiter Menüstruktur (Rauch et al., 2004). Es kommt bei tiefen Menüs zu einer günstigeren Verschränkung von FIS-Bedienung und Fahrzeugführung, so dass tiefe Menüs als weniger anspruchsvoll für die Bedienung während der Fahrt zu bewerten sind. Unterstützung findet diese Aussage in den Ergebnissen von Fahrt 2, während der das tiefe Menü weniger stark die Fahrzeugführung beeinträchtigt, obwohl die Fahrer für die Bearbeitung der Aufgaben mehr Zeit verwendeten als beim breiten Menü.

Einhergehend hiermit wurde gezeigt, dass die Bedienung eines breiten Menüs sowohl zu längeren Bediensequenzen während einer Fahrt mit Tempomat als auch zu höheren reproduzierten Bediendauern bei einer Zeitreproduktionsfahrt führt. Die Fahrer scheinen während der Bedienung des Menüsystems die Dauer der jeweiligen Bediensequenz zu unterschätzen und verlängern die Bediensequenz bis zum Erreichen eines erlebten Zeitpunkts der (individuell) maximal zulässigen Ablenkungszeit von der Fahrzeugführung. Dadurch wird die Aufmerksamkeit der Fahrer länger von der Fahrzeugführung abgelenkt als bei Bedienung des tiefen Menüs. Dieser Effekt kann auf die größere, pro Menüebene dargebotene Informationsmenge und die daraus resultierenden höheren Anforderungen an die Verarbeitung nicht-zeitlicher Informationen zurückgeführt werden. Aufgrund der geringeren Informationsmenge wird das Zeiterleben bei Bedienung des tiefen Menüs hingegen nicht so stark beeinflusst, es kommt zu keiner dermaßen starken Fehleinschätzung der Zeit. Frühere empirische Ergebnisse prospektiver Zeiturteile (z.B. Hicks et al., 1976; Macar et al., 1994; Zakay et al., 1999) können auf den vorliegenden Kontext übertragen werden.

Eine alternative Erklärung für diesen Befund greift auf Unterschiede in der Unterbrechbarkeit der Bedienung breiter bzw. tiefer Menüs zurück: Die Bedienung breiter Menüs ist gerade durch die größere zu verarbeitende Informationsmenge weniger leicht zu unterbrechen, so dass die jeweilige Bediensequenz eher zu Ende geführt, als unterbrochen wird. Monk, Boehm-Davis und Trafton (2002, 2004) erklären dies damit, dass die Unterbrechung einer Aufgabe am ungünstigsten in deren Mitte oder an deren Ende ist, wohingegen eine Unterbrechung zu Aufgabenbeginn weniger kritisch zu sein scheint. Die Betätigungsdauern der Joysticktasten in Fahrt 1 und 2 unterstützen eine solche Annahme: Unabhängig von der Übung in der Bedienung des Menüsystems während der Fahrt sind einzelne Bediensequenzen für das tiefe Menü kürzer als für das breite Menü. Die Bedienung tiefer Menüs ist möglicherweise tatsächlich leichter und mit geringeren Folgekosten unterbrechbar als breite Menüs.

Inwiefern dies auch für die gewählte Zeitreproduktionsaufgabe gilt, in der die Probanden gebeten wurden, die vorgegebenen Tondauern über die Bedienung des jeweiligen Menüs präzise zu reproduzieren (unabhängig von einer optimalen Bedienleistung), ist anhand der vorliegenden Studie nicht abschließend zu beurteilen. Die Reproduktionszeiten für kurze Zeitintervalle scheinen die Unterbrechungshypothese zu bestätigen: Für das 2.0s-Zeitintervall, was als minimale Bedienzeit eines FIS einge-

führt wurde, ist das reproduzierte Intervall mehr als doppelt so lang wie das dargebotene Intervall (2.26fach), für das 5.0s-Zeitintervall ist es hingegen nur um das 1.19fache erhöht. Für eine Bewertung von Menüstrukturen von FIS bedeutet dies jedoch uneingeschränkt, dass speziell einzelne Bedienschritte bzw. kürzere Bediensequenzen im Umgang mit FIS deutlich länger dauern als dies von den Fahrern angestrebt wird. Daher unterschätzen Fahrer möglicherweise insbesondere die Ablenkungswirkung und das hieraus resultierende Sicherheitsrisiko von kurzen Bediensequenzen. Dieser Aspekt ist in weiteren Studien zu prüfen.

Unterschiede in der Unterbrechbarkeit der Bedienung in Abhängigkeit der Menüstruktur können hingegen nicht die Ergebnisse in der Zeitschätzaufgabe erklären: Übereinstimmend zu Befunden retrospektiver Zeiturteile werden Zeitintervalle bei Bedienung des breiten Menüs im Nachhinein hinsichtlich ihrer Dauer stärker überschätzt als bei Bedienung des tiefen Menüs. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zunehmend mehr und komplexere nicht-zeitliche Informationen verarbeitet werden müssen (Block, 1974; Ornstein, 1969). Das Zeiterleben in Abhängigkeit der Menüstruktur scheint verantwortlich für die gezeigten Befunde zu sein. Diese Studie zeigt somit durchaus das Potenzial für einen neuen theoretischen Ansatz zur Erklärung von Ablenkungseffekten im Fahrzeug auf: Das Zeiterleben als verantwortlichen Mechanismus für Interferenzen zwischen Fahrzeugführung und einer Bedienung von Fahrerinformationssystemen.

Abschließend ist die in dieser Studie realisierte Operationalisierung der Erfassung des Zeiterlebens zu diskutieren:

- Die als Zeitreproduktion bezeichnete Versuchsanordnung ist von typischen Zeitproduktionsaufgaben abzugrenzen, da bei der gewählten Reproduktionsmethode die Zeitintervalle von den Probanden nicht mittels konventioneller Zeiteinheiten hergestellt wurden. Die Probanden sollten sich vielmehr an der erlebten Zeitdauer von dargebotenen Tönen orientieren. Klassische Zeitproduktionsaufgaben beinhalten demgegenüber den Vergleich von im Gedächtnis gespeicherten Informationen bezüglich konventioneller Zeiteinheiten mit einer erlebten Dauer.
- Das gewählte Vorgehen zur Erfassung der Zeitschätzungen legt ein prospektives Vorgehen nahe, da die Aufmerksamkeit der Probanden bereits durch die Zeitreproduktionsaufgabe auf das Zeiterleben gelenkt wird. Bei der Zeitreproduktions- und der Zeitschätzaufgabe ist jedoch von unterschiedlichen für das Zeiterleben relevante Mechanismen auszugehen: Nur in der Zeitschätzaufgabe ist eine Übersetzung der erlebten Dauern in konventionelle Zeiteinheiten erforderlich und Gedächtniseffekte sind zu erwarten. Da den Probanden vorher jedoch nicht bekannt war, dass sie später Zeiturteile abgeben sollten, wird für diese Aufgabe ein retrospektiver Ansatz postuliert.

Die in dieser Studie umgesetzte Realisierung der Zeitreproduktions- und Zeitschätzmethode lehnt sich somit an in Laborstudien eingesetzten Paradigmen zum Zeiterleben an (für einen Überblick siehe Block et al., 2000). Durch den vorliegenden Forschungskontext (Bedienung von Fahrerinformationssystemen während der Fahrzeugführung) wird aber eine Erweiterung bestehender Forschungsansätze notwendig. Die berichtete Studie stellt einen diesbezüglich neuartigen Ansatz dar.

## 5. Literatur

- Block R.A., Hancock, P.A. & Zakay, D. (2000). Sex differences in duration judgments: A meta-analytic review. *Memory & Cognition*, 28 (8), 1333-1346.
- Block, R.A. & Reed, M.A. (1978). Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 4, 656-665.
- Block, R.A. (1974). Memory and the experience of duration in retrospect. *Memory & Cognition*, 2, 153-160.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Carmichael, A.R. (1997). Duration estimates: A potentially useful tool for cognitive ergonomists. In D. Harris (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomists, Vol. 2, Job Design and Product Design* (pp. 267-273). Aldershot: Ashgate.
- Creelman, C.D. (1962). Human discrimination of auditory duration. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34, 582-593.
- Damos, D.L. & Wickens, C.D. (1980). The identification and transfer of timesharing skills. *Acta Psychologica*, 46, 15-39.
- Detweiler, M. & Schneider, W: (1991). Modeling the acquisition of dual-task skill in a connectionist/control architecture. In D.L. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp. 69-99). London: Taylor & Francis.
- Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review of Psychology*, 35, 1-36.
- Gabriel, R.F. & Burrows, A.A. (1968). Improving timesharing performance of pilots through training. *Human Factors*, 10, 33-40.
- Geiger, S.M., Schulze-Kissing, D., van der Meer, E. & Urbas, L. (2004). *Interferenzeffekte zeitlicher Informationsverarbeitung in Mensch-Maschine-Systemen*. Beitrag auf Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Göttingen.
- Hicks, R.E., Miller, G.W. & Kinsbourne, M. (1976). Prospective and retrospective judgments of time as a function of amount of information processed. *American Journal of Psychology*, 89, 719-730.
- Hoffmann, S. & Buld, S. (2006). Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation. VDI-Berichte Nr. 1960. *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (S. 113-132). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kiger, J.I. (1984). The depth/breadth trade-off in the design of menu-driven user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 20, 201-213.
- Larson, K. & Czerwinski, M. (1998). Web page design: Implications of memory, structure and scent for information retrieval. In C.-M. Karat, A. Lund, J. Cou-

- taz & J. Karat (Eds.), *Proceedings of CHI '98*, 18.-23. April, Los Angeles (S. 25-32). New York: ACM.
- Liu, Y. & Wickens, C.D. (1994). Mental workload and cognitive task automaticity: An evaluation of subjective and time estimation metrics. *Ergonomics*, 37 (11), 1843-1854.
- Macar, F., Grondin, S. & Casini, L. (1994). Controlled attention sharing influences time estimation. *Memory & Cognition*, 22 (6), 673-686.
- Monk, C.A., Boehm-Davis, D.A. & Trafton, J.G. (2002). The attentional costs of interrupting task performance at various stages. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46th Annual Meeting* (S. 1824-1828). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Monk, C.A., Boehm-Davis, D.A. & Trafton, J.G. (2004). Recovering from interruptions: Implications for driver distraction research. *Human Factors*, 46 (4), 650-663.
- Norman, K.L. (1991). *The psychology of menu selection: Designing cognitive control of the human/computer interface*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Ornstein, R.E. (1969). *On the experience of time*. Harmondsworth: Penguin.
- Rammsayer, T. & Ulrich, R. (2001). Counting models of temporal discrimination. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8 (2), 270-277.
- Rauch, N., Totzke, I. & Krüger, H.-P. (2004). Kompetenzerwerb für Fahrerinformationssysteme: Bedeutung von Bedienkontext und Menüstruktur. VDI-Berichte Nr. 1864. *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (S. 303-322). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Schumacher, E.H., Seymour, T.L., Glass, J.M., Fencsik, D.E., Lauber, E.J., Kieras, D.E. & Meyer, D.E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological Science*, 12 (2), 101-108.
- Snowberry, K., Parkinson, R. & Sisson, N. (1983). Computer display menus. *Ergonomics*, 26 (7), 699-712.
- Totzke, I. & Bengler, K.-J. (im Druck). Information und Kommunikation im Fahrzeug. Enzyklopädie der Psychologie.
- Totzke, I., Hofmann, M. & Krüger, H.-P. (2005). Age, previous knowledge, and learnability of driver information systems. In G. Underwood (Hrsg.), *Traffic and Transport Psychology* (S. 279-292). Nottingham: Elsevier.
- Weinand, M. (1997). Kompensationsmöglichkeiten bei älteren Kraftfahrern mit Leistungsdefiziten. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit*, M 77. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Wickens, C.D. & Hollands, J. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- Wiegand, D. (1985). Die Messung der psychischen Beanspruchung während aufgabenbezogener Tätigkeiten einschließlich Fahrzeugführung durch konkurrierende Zeitintervallschätzungen. In Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (Hrsg.), *Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen – Methoden und Problematik. Symposium am 14. und 15. November 1985 in Köln-Porz.*
- Zakay, D. & Block, R.A. (1996). The role of attention in time estimation processes. In M.A. Pastor & J. Artiera (Eds.), *Time, internal clocks and movement* (pp. 143-164). Amsterdam: Elsevier.
- Zakay, D., Block, R.A. & Tsal, Y. (1999). Prospective duration estimation and performance. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance: Interaction of theory and application* (pp. 557-580). Cambridge, MA: MIT Press.

# IUUI – Intuitive Use of User Interfaces: Auf dem Weg zu einer wissenschaftlichen Basis für das Schlagwort „Intuitivität“

MOHS, C.<sup>1</sup>, HURTIENNE, J.<sup>1</sup>, KINDSMÜLLER, M. C.<sup>2</sup>, ISRAEL, J. H.<sup>1</sup>, MEYER, H. A.<sup>3</sup> & DIE IUUI RESEARCH GROUP

<sup>1)</sup> GRK prometei am ZMMS der Technischen Universität Berlin

<sup>2)</sup> Institut für Multimediale & Interaktive Systeme Universität zu Lübeck

<sup>3)</sup> artop GmbH - Institut an der Humboldt-Universität zu Berlin

*Schlüsselwörter: intuitive Bedienung, intuitive Benutzung, Intuitivität, Mensch-Technik-Interaktion, User Interface Design*

Es ist sicherlich nicht ausschließlich ein Phänomen der heutigen Zeit, wenn Benutzer technischer Systeme sich wünschen, diese auf Anhieb richtig benutzen zu können. Doch die Vielfalt und die Komplexität technischer Einrichtungen, mit denen Menschen in den Industriegesellschaften konfrontiert werden, war nie so groß wie heute. Daher ist es verständlich, dass die Forderung nach intuitiver Benutzbarkeit immer häufiger und nachdrücklicher geäußert wird. Die Hersteller haben reagiert und bieten entsprechend „intuitive Benutzungsoberflächen“ oder „intuitiv zu bedienende Interfaces“ an. Da zwischen den einzelnen "intuitiv" zu bedienenden Systemen dennoch Unterschiede hinsichtlich des Bedienkomforts empfunden werden, wird versucht, die Bedienbarkeit anhand einer subjektiven Skala, die Intuitivität genannt wird, zu bewerten. Versucht man den Begriff Intuitivität nachzuschlagen, um eine eindeutige Bedeutung zu erfahren, so stellt man fest, dass er in keinem Wörterbuch zu finden ist. Und auch für die Beschreibung eines Konstrukts intuitiver Bedienbarkeit gibt es in der wissenschaftlichen Literatur bisher wenige eher einseitig betrachtete oder rudimentäre Ansätze.

Aus diesen Gründen wurde der Arbeitskreis IUUI – Intuitive Use of User Interfaces ins Leben gerufen, dessen, Ziele, Vorgehensweisen und erste Erkenntnisse hier skizziert werden.

# 1. Der Arbeitskreis „IUI – Intuitive Use of User Interfaces“

Der Arbeitskreis IUI entstand, initiiert durch Mitglieder des Graduiertenkollegs „prometei“, am Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin, mit der Zielsetzung, zunächst eine begriffliche Basis für die Beschreibung des Konstruktes *intuitive Benutzung* zu schaffen und darauf aufbauend Ansätze für eine konkrete Umsetzung im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion zu entwickeln. Er setzt sich aus Usability-Experten der Fachrichtungen Psychologie, Ingenieurwesen, Informatik, Design und Linguistik zusammen, welche verschiedenen Institutionen aus Wissenschaft, Industrie und Consulting angehören. IUI versteht sich als unabhängiger, offener und interdisziplinärer Kreis von Personen, die einerseits die Überzeugung teilen, dass es sich bei intuitiver Benutzung um ein eigenständiges Konstrukt der Usability handelt und es gleichzeitig für notwendig und auch möglich halten, dieses Konstrukt auf eine solide wissenschaftliche Basis zu stellen. Die Arbeit des Arbeitskreises und der Austausch mit Gästen und externen Experten (z.B. aus den USA und Australien) erfolgt domänenübergreifend und ist keinerlei Bindung an eine Institution oder ein Forschungsprojekt verpflichtet.

## 2. Vorgehensweise und bisherige Erkenntnisse

Das Thema intuitive Benutzung wird als Mensch-Technik-Interaktionskonzept in einem ganzheitlichen Ansatz betrachtet, wobei derzeit folgende Bestandteile fokussiert werden: Klärung begrifflicher Hintergründe und Gebrauchsweisen bei Benutzern und Experten, Definition des Begriffs Intuitivität als verbreitetes Synonym für das Konstrukt intuitive Benutzung, Ableitung von bestimmenden Dimensionen und Kriterien, Umsetzungsansätze intuitiver Interaktion und Methodenentwicklung für die Analyse, Gestaltung und Bewertung von Mensch-Technik-Systemen hinsichtlich der intuitiven Benutzung.

In den folgenden Abschnitten werden die bisherigen Arbeiten zur Klärung der begrifflichen Hintergründe vorgestellt, die im Wesentlichen in Expertenbefragungen und -workshops, Benutzerbefragungen und Recherchen bestehen. Ziel dieser Studien war es, Kerndimensionen der äußerst vagen Begrifflichkeit von „Intuitivität“ herauszuarbeiten sowie Ansätze zu finden, wie Technik so gestaltet werden kann, dass sie aus Sicht von Benutzern und Usability Experten intuitiv benutzbar ist.

### 2.1 Expertenbefragung und -workshops

#### 2.1.1 Mensch und Computer 2005

Um in einem ersten Schritt einen neutralen Eindruck von der Sicht der Experten für Usability, Software-Ergonomie, Interaktionsdesign und -architektur auf den Begriff „Intuitivität“ zu erhalten, wurden während der Konferenz „Mensch und Computer 2005“ in einer Session des „Usability Professionals Track“ folgende Fragen an die ca. 60 anwesenden Teilnehmer gerichtet: Was verstehen Sie unter Intuitivität? Was fällt Ihnen dazu ein und woran denken Sie spontan bei diesem Begriff?

Aus Antworten wie „erwartungskonform“ und „mental Modellen entsprechend“ wird deutlich, dass ein enger Bezug zum Kriterium *Erwartungskonformität* der benutzerzentrierten Gestaltung von Dialogsystemen (DIN EN ISO 9241-10) gesehen



wird. Außerdem wird von einer geringen Beteiligung von Informationsverarbeitungsressourcen – „kinderleicht“, „nicht denken“ – und einer gewissen Schnelligkeit – „spontan“, „nicht suchen“ – ausgegangen. Wichtige Impulse für die weitere Bearbeitung des Themas gaben außerdem die Aussagen „Verankerung im Unterbewusstsein“, „Metaphern mit ‚verlorenem‘ Hintergrund“ sowie „hat Aufforderungscharakter“.

### 2.1.2 ZMMS-Frühjahrsschule

Der Bezug von Intuitivität zu den gängigen Kriterien der Usability, wie sie z.B. in der DIN EN ISO 9241-10 definiert sind, interessierte uns genauer und wir nutzten die Frühjahrsschule des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin, um einen Workshop zu dieser Fragestellung durchzuführen. Insgesamt nahmen daran 24 Experten aus den Gebieten Mensch-Maschine-Systeme, Ergonomie bzw. Usability teil (Erfahrung auf dem Gebiet: Mittelwert=5,7 Jahre, Standardabweichung=2,7). Diesen wurde auf der einen Seite eine aus der Arbeit des Arbeitskreises IUUI hervorgegangene Definition für Intuitivität präsentiert und auf der anderen Seite die sieben Grundsätze der Dialoggestaltung der DIN EN ISO 9241-10 in Erinnerung gerufen. Daraufhin sollte in einem Fragebogen eingeschätzt werden, in welchem Verhältnis diese Kriterien zur Intuitivität stehen (von 1=„sehr ähnlich“ bis 5=„gar nicht ähnlich“) und welche weiteren Konzepte im Umfeld von Intuitivität eine Rolle spielen.

Ein Vergleich der Mittelwerte zeigte, dass nach Meinung der Experten die Erwartungskonformität ( $M=1,4$ ,  $SD=0,8$ ) die größte Ähnlichkeit zur Intuitivität hat. Auch die Selbstbeschreibungsfähigkeit ( $M=2,0$ ,  $SD=1,3$ ) und, etwas weniger, die Aufgabenangemessenheit ( $M=2,5$ ,  $SD=1,2$ ) haben starke Ähnlichkeit zur Intuitivität. Die Ähnlichkeit der übrigen Kriterien Steuerbarkeit ( $M=3,3$ ,  $SD=1,2$ ), Lernförderlichkeit ( $M=3,6$ ,  $SD=1,2$ ), Fehlertoleranz ( $M=3,8$ ,  $SD=1,1$ ) und Individualisierbarkeit ( $M=4,0$ ,  $SD=1,0$ ) zur Intuitivität wurde dagegen nur mittel bis schwach eingeschätzt. (Tabelle 1).

*Tabelle 1: Workshopergebnisse zum Zusammenhang von Intuitivität und Usability-Kriterien (Kriterien nach DIN EN ISO 9241-110 im oberen Teil der Tabelle)*

<b>enger Zusammenhang</b>	<b>mittlerer / schwacher Zusammenhang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erwartungskonformität</li> <li>– Selbstbeschreibungsfähigkeit</li> <li>– Aufgabenangemessenheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steuerbarkeit</li> <li>– Lernförderlichkeit</li> <li>– Fehlertoleranz</li> <li>– Individualisierbarkeit</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Affordances</li> <li>– Gestaltgesetze</li> <li>– Kompatibilität</li> <li>– Vertrautheit</li> </ul>	

Weiterhin wurde mit einer offenen Frage erhoben, welche anderen Konzepte außerhalb der ISO-Normkriterien eine Rolle spielen. Insgesamt boten diese zusätzlich genannten Kriterien eine Mischung aus Designprinzipien (z.B. Affordances, Gestaltgesetze, Kompatibilität), Wirkungen von Intuitivität (z.B. Joy of Use, Vertrautheit, Zufriedenheit) und Kriterien, die Komponenten des Wirkungsprozesses intuitiv benutzbarer Interfaces bezeichnen (z.B. Analogieschluss, implizites Gedächtnis, prozedurales Wissen).

### 2.1.3 Mensch und Computer 2006

Uns interessierte nicht nur was Usability Experten unter dem Begriff „Intuitivität“ verstehen und wie er sich zu bereits etablierten Usability Kriterien verhält, sondern auch, welche Ansätze und Kriterien Usability Experten sehen, um Intuitivität zu beeinflussen und zu überprüfen.

Dazu stellten wir auf der Konferenz „Mensch und Computer 2006“ eine Definition der „Intuitivität“ zur Diskussion und schlossen gleichzeitig einen Workshop zu der Fragestellung an, welche Gestaltungs- und Erfolgskriterien die ca. 50 Teilnehmer für die Beeinflussung bzw. Überprüfung intuitiv ausführbarer Interaktionsvorgänge für relevant halten. Etwa jeweils die Hälfte der Teilnehmer beschäftigte sich in Gruppen zu je fünf bis sieben Personen mit der Sammlung und Diskussion von Gestaltungskriterien bzw. Erfolgskriterien. Die wesentlichen Ergebnisse des Workshops zeigt Tabelle 2.

*Tabelle 2: Workshopergebnisse zu Gestaltungs- und Erfolgskriterien intuitiver Interaktion*

<b>Gestaltungskriterien</b>	<b>Erfolgskriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– alle Sinnesmodalitäten ansprechen</li> <li>– aus vorhergehender Erfahrung bekannte Symbole nutzen</li> <li>– Vorwissenstransfer, Analogiebildung</li> <li>– Bilder, Metaphern, Grafiken</li> <li>– Redundanz bereitstellen vs. Reduktion auf das Wesentliche</li> <li>– Fokus auf Einzelelemente</li> <li>– konkrete Beispiele für Entwickler: dabei Vorwissensebene berücksichtigen, Beispiele abhängig von Benutzergruppen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausführungszeiten, Fehler</li> <li>– Zufriedenstellung</li> <li>– wahrgenommene Einfachheit</li> <li>– wahrgenommener Abstand zum Ideal</li> <li>– geringer Trainingsaufwand, keine Lernkurve nachweisbar</li> <li>– minimaler Rückgriff auf Hilfe (Trennung Hilfe zur Aufgabe / Hilfe zum Werkzeug nötig)</li> <li>– geringe Beanspruchung kognitiver Ressourcen (ggf. dual task Paradigma)</li> <li>– lautes Denken: es dürfen keine Indikatoren für Problemlösungsprozesse auftauchen</li> <li>– Intuitivität graduell, kontinuierlich messen; nicht dichotom</li> <li>– geringes Stress-Level</li> </ul>

Die Ergebnisse flossen in die weitere Diskussion um Gestaltungskriterien und Überprüfungsmethoden für intuitive Benutzung in den Arbeitskreis ein. Niederschlag finden sie zum Beispiel in der Entwicklung des Evaluationsinstruments „Evalint“ (Abschnitt 4.2).

## 2.2 Benutzerbefragung

Zur Erhebung des Begriffsverständnisses naiver Benutzer fragten wir vorher nicht instruierte Probanden, was sie unter intuitiver Bedienung verstehen und baten sie anschließend um ihre Meinung zu 31 formulierten Aussagen zur Intuitivität. Insgesamt wurden 22 Personen (darunter 10 Frauen) befragt, der Alterdurchschnitt lag bei 38,7 Jahren. Bei der Auswahl wurde auf Heterogenität bzgl. Bildungsgrad und Beruf geachtet.

Die Antworten auf die Frage „Was verstehen Sie unter intuitiver Bedienung?“ waren breit gestreut. Häufige Aussagen waren „gefühlsmäßiges Handeln / Bedienung aus dem Bauch heraus“ und „ohne Anleitung / Erklärung bedienen“ (jeweils vier Nennungen). Diese und andere Aussagen wie „ohne großes Überlegen / ohne Nachdenken“, „nicht denken: machen“, „Routine“ und „automatisches Bedienen“ deuten darauf hin, dass intuitives Handeln kein kognitiv beanspruchender Prozess (mehr) ist, sondern fertigungs- und vielleicht noch regelbasiert abläuft. Aussagen wie „die Fähigkeit, etwas sofort richtig bedienen zu können“ weisen darauf hin, dass durch Intuitivität eine externe Hilfe entbehrlich wird. Zweimal war die Rede von „logischer Bedienung“ und „logischem Empfinden“ (etwas, was sich nicht so verhält, wie man es erwartet, wird umgangssprachlich auch als „unlogisch“ bezeichnet).

Bei der Stellungnahme der Probanden zu vorgegebenen Aussagen über Intuitivität findet man starke Zustimmung zu Aussagen wie „Intuitivität heißt, ohne Nachdenken ‚aus dem Bauch heraus‘ zu entscheiden.“ Hier spiegelt sich das Unbewusste, das „nicht bewusst Erklärbare“ der Intuitivität wider. Bei der eher auf Wahrnehmung gerichteten Aussage „Intuitivität heißt, etwas ohne bewusstes Nachdenken wieder zu erkennen“ war der Grad der Zustimmung nicht ganz so stark. Der Bezug zum Vorwissen wird durch die Aussage „Intuitivität ist Anwendung bereits gemachter Erfahrungen in einem neuen Zusammenhang“ bestätigt. Ein weiterer Aspekt ist das Instantanee der Intuitivität bei der Aussage „sofort verständlich“. Nicht nur beim Erstkontakt mit einem System, sondern auch bei wiederholter aber unregelmäßiger Benutzung und sogar bei bekannten Systemen spielt Intuitivität für Benutzer eine Rolle. Das steht im Widerspruch zur manchmal in der Literatur vorgefundenen Beschränkung auf den Erstkontakt und die initiale Lernphase mit einem technischen System. Für weitere Ergebnisse dieser Befragung siehe Mohs, Hurtienne, Scholz & Rötting (2006b).

## 2.3 Sammlung von Beispielen der Begriffsverwendung

Was meinen eigentlich Hersteller damit, wenn sie ihre Produkte als „intuitiv bedienbar“ bewerben? Dazu wurden 45 Produktbeschreibungen aus dem Internet zusammengetragen und daraus ein Affinity Diagramm (vgl. Holtzblatt, Wendell & Wood 2005) von drei Usability-Experten erstellt. Die am häufigsten mit „intuitiver Benutzung“ assoziierten Eigenschaften der beschriebenen Produkte waren *ohne Lernen, Handbuch oder Schulung benutzbar* (44%, Mehrfachklassifikationen waren möglich), *einfach und leicht benutzbar* (31%), *effizient, schnell und direkt (ohne Umwe-*

ge) *benutzbar* (27%) und *standardkonform / konsistent* (24%). Weitere Beschreibungen finden sich in den Kategorien *nicht nachdenken / natürlich* (20%), *Mapping* (18%), *übersichtlich* (18%) und *weniger ist mehr* (16%). Darüber hinaus gab es Nennungen mit Bezug auf die Aufgabenangemessenheit, auf die grafische Gestaltung der Benutzungsoberfläche, auf spezielle Hardware-Elemente wie Touchscreen oder Drehdrücksteller, die Selbsterklärungsfähigkeit und Spaß. Hersteller scheinen also vor allem den geringen Aufwand zu betonen, den es macht, sich in die Benutzung des Produktes einzuarbeiten. Sie heben aber auch die einfache und effiziente Benutzung hervor, wenn sie von „intuitiv“ sprechen.

Manchmal allerdings versuchen Hersteller von Produkten auch heute selbstverständliche Produkteigenschaften als „intuitiv“ zu bezeichnen, wie beispielsweise die grafische Gestaltung der Benutzungsoberfläche oder konsistente Benutzungsabläufe.

### **3. Definition Intuitivität V 1.1**

Auf der Grundlage der Befragungs- und Workshopergebnisse konnten wir als grundlegenden Kern des Verständnisses von „Intuitivität“ folgende Definition ziehen:

*Ein technisches System ist im Rahmen einer Aufgabenstellung in dem Maße intuitiv benutzbar, in dem der jeweilige Benutzer durch unbewusste Anwendung von Vorwissen effektiv interagieren kann.*

Diese aktuelle Version der Definition basiert in den wesentlichen Bestandteilen auf dem Erstentwurf (Version 1.0, vgl. Mohs, Hurtienne, Israel, Naumann, Kindsmüller, Meyer & Pohlmeier 2006a), welcher auf der Konferenz „Mensch und Computer 2006“ vorgestellt wurde. Die Aussagen der Definition sind auch als derzeit kleinster gemeinsamer Nenner zu verstehen, welcher von allen Mitgliedern des Arbeitskreises vertreten wird. Es bleibt entsprechend noch die ein oder andere Frage offen, an deren Beantwortung derzeit im Arbeitskreis gearbeitet wird. So ist der Ausdruck "unbewusste Anwendung von Vorwissen" noch sehr allgemein und lässt somit viel Spielraum für unterschiedliche Modelle von der Entstehung und der Art der Verwendung des Vorwissens. Weiterhin wird nicht expliziert, in welchen Nutzungsphasen überhaupt von intuitiver Benutzung gesprochen werden kann. Somit trifft die Definition in dieser Form beispielsweise auch auf hoch automatisierte Vorgänge zu. Eine andere offene Frage ist, welche Rollen neben der Effektivität die anderen Kriterien Effizienz und Zufriedenstellung aus der DIN EN ISO 9241-11 spielen? (Siehe hierzu auch Hurtienne, Mohs, Meyer, Kindsmüller, Israel & die IUUI Research Group, in Druck).

### **4. Umsetzungsansätze intuitiver Interaktion**

In Bezug auf eine Überführung der Aussagen der vorgestellten Definition auf konkrete Voraussetzungen und Bedingungen einer Interaktionssituationen werden hingegen noch sehr unterschiedliche Modelle diskutiert. In den folgenden Abschnitt wird ein kurzer Überblick über einige dieser Modelle gegeben, welche sich beispielsweise in der Vorstellung des Ursprungs und des Levels des eingesetzten Vorwissens für intuitive Interaktionen unterscheiden

## 4.1 Interaktion auf der Ebene Sinneserfahrung

Ein Ansatz untersucht Interaktionen, die auf Vorwissen der Ebene „Sinneserfahrung“ basieren. Dazu werden Ansätze aus der Kognitiven Linguistik untersucht: Image Schemata und ihre metaphorischen Erweiterungen.

Image Schemata sind einfache abstrahierte Repräsentationen wiederkehrender alltäglicher Erfahrungen (Johnson 1987). Ein Beispiel: Unserer alltäglichen Erfahrung mit Räumen und Behältnissen aller Art (Häuser, Zimmer, Autos, Tassen, Töpfe, Kisten etc.) liegt das Image Schema CONTAINER zugrunde. Ein CONTAINER ist charakterisiert durch ein Innen und ein Außen, eine Begrenzung usw. Image Schemata beschreiben physikalische Erfahrungen des Menschen, die aber auch auf abstrakte Bereiche metaphorisch übertragen werden können. Damit werden sie interessant für User Interface Gestaltung: Ein Schieberegler nutzt zum Beispiel das UP-DOWN Schema, mit dem auch die Eingabe abstrakter Größen wie Lautstärke der Lautsprecher, Freundlichkeit von Hotelpersonal oder die Zufriedenheit von Patienten im Krankenhaus erfolgen kann.

Zwei Gruppen von Studien erkunden, wie dieser Ansatz für die Gestaltung intuitiver Mensch-Technik-Interaktion angewandt werden kann. Im ersten Teil wird experimentallypsychologisch geprüft, ob metaphorische Erweiterungen von Image Schemata auch bei der Benutzung von Interaktionselementen in GUI Vorteile bringen. Im zweiten Teil werden Image Schemata in Hard- und Software User Interfaces analysiert. Ergebnis ist ein Katalog von Image Schemata / Interaktionselementen, der Entwicklern zur Inspiration, Problemlösung und Sensibilisierung dienen sowie zur Bewertung von User Interfaces herangezogen werden kann.

## 4.2 Geringe kognitive Beanspruchung durch Transfer und Adaption von Vorwissen

Ein weiterer Ansatz konzentriert sich auf den Aspekt, dass intuitive Mensch-Technik-Interaktionen durch unbewusste Vorwissensverwendung mit minimalem kognitiven Ressourceneinsatz des Benutzers verbunden sind. Dabei wird eine besondere Bedeutung dieses Aspektes in der Annahme gesehen, dass eine solche unbewusste Verwendung von Vorwissen selbst dann möglich ist, wenn die beim Benutzer bereits vorhandenen hoch geübten Wahrnehmungs- und Interaktionsfertigkeiten nicht vollständig die für die Bediensituation erforderlichen Voraussetzungen bereitstellen. Das ist besonders beim Gebrauch unbekannter oder selten benutzter technischer Systeme möglich. In einem solchen Fall können nach diesem Modell in geringem Umfang die fehlenden Fertigkeiten durch ebenfalls unbewusst erfolgende Anpassung von vorhandenen Fertigkeiten an unbekannte Merkmale der aktuellen Interaktionssituation erfolgen (vgl. Spool 2005)

Diesem Ansatz folgend, wird zum einen das Evaluationsinstrument „Evalint“ (vgl. Mohs et al. 2006b) entwickelt, welches die Erhebung der subjektiv wahrgenommenen kognitiven Beanspruchung durch einen Benutzerfragebogen ermöglichen soll. Des Weiteren wurde eine Methode zur Messung der Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen während eines Interaktionsvorgangs entwickelt und in einer ersten Studie für die Bewertung von Gesamtprozessen validiert. In einer folgenden Studie wird die Sensibilität der Messmethode für die Identifikation einzelner Interaktionsabschnitte mit hoher Beanspruchung untersucht.

### 4.3 Physische Benutzungsschnittstellen (tangible interfaces)

Ausgehend von der Annahme, dass intuitive Interaktion auf Anwendung von Vorwissen beruht und dieses vor allem in der Interaktion mit realen Objekten erworben wird, interessiert in einem weiteren Ansatz die Frage, ob physisch repräsentierte, greifbare Benutzungsschnittstellen (tangible interfaces; Ishi & Ullmer 1997) besondere Möglichkeiten zur Unterstützung intuitiver Interaktionen aufweisen. Beobachtungen basaler Objektmanipulationen an physisch und virtuell repräsentierten Objekten haben signifikante Unterschiede in Geschwindigkeit, Fehlerrate und empfundener pragmatischer Qualität zugunsten physischer Objekte ergeben (Israel in Druck). Die Forschungsfrage ist hier, wie die einer intuitiven Interaktion förderlichen Eigenschaften physischer Schnittstellen auf die Manipulation insbesondere komplexer digitaler Daten übertragen werden können, die meist abstrakt und stark vernetzt organisiert sind und sich somit nicht eins-zu-eins physisch abbilden lassen.

### 4.4 Die Bedeutung automatisierter Prozeduren

Theoretisch können Benutzer durch Üben ihre Fertigkeiten in der Interaktion mit jedem technischen Systems derart entwickeln, dass diese immer stärker automatisiert werden und immer weniger Aufmerksamkeitsressourcen verbrauchen. Automatische Prozesse laufen vollständig ohne bewusste Kontrolle ab und erfüllen damit die obige IUUI Definition. Ein wichtiges Kriterium für intuitive Interaktion ist daher die Unterstützung des Benutzers in allen Phasen des Erwerbs von Fertigkeiten, mit dem Ziel, dass sich benutzerseitig möglichst viele automatisierte und schnelle Prozeduren entwickeln (autonome Phase; Anderson, 1996). Automatisierung bildet eine Klammer zwischen dem Vorwissen (Fertigkeiten, Prozeduren) des Benutzers und dessen effizienter Anwendung im Kontext Aufgabe / technisches System, sie kann daher auch nicht alleiniges Kriterium intuitiver Interaktion sein.

## 5. Wie geht es weiter?

Wie die frühe Versionsnummer deutlich macht, hat die aktuelle Begriffsbildung derzeit noch stark den Charakter einer Arbeitsdefinition. Die hier berichteten Workshop-Ergebnisse der Konferenz „Mensch und Computer 2006“ werden gegenwärtig im Arbeitskreis IUUI diskutiert. Neben der arbeitskreisinternen Erörterung wird derzeit insbesondere der Dialog auf internationaler Ebene intensiviert. Den Auftakt hierzu bildete der Workshop *Perspectives on Intuitive Interaction* im November 2006 in Berlin, bei dem der aktuelle Stand der Definition des Arbeitskreises IUUI und die Arbeiten zur *intuitive interaction* an der Queensland University of Technology (vgl. z.B. Blackler, Popovic & Mahar 2005a, 2005b) zueinander in Beziehung gesetzt wurden. Obwohl beide Ansätze auf unterschiedliche Forschungsstrategien (*top-down* vs *bottom-up*) rekurren und eine unterschiedliche Begrifflichkeit (*intuitive use* vs *intuitive interaction*) verwenden, wurden ähnliche Grundprinzipien zur Fundierung der jeweiligen Konstrukte herausgearbeitet. Hier sind vor allem Gleichartigkeit / *similarity*, Vertrautheit / *familiarity* und Konsistenz / *consistency* zu nennen.

Der aktuelle Stand der Diskussionsprozesse wird fortgeschrieben und schlägt sich nieder in angepassten Versionen der Definition. Diese sollen der interessierten Öffentlichkeit zeitnah im Rahmen von Veröffentlichungen in einschlägigen Konferenzen bzw. Zeitschriften zugänglich gemacht werden. Eine Zusammenstellung ver-

schiedener Positionen zum Thema intuitive Benutzbarkeit, die unter anderem die Version 2.0 unserer Definition enthalten wird, ist in der Ausgabe 2/2007 von MMI interaktiv geplant. In diesem Zusammenhang möchten wir dazu einladen, unseren Ansatz kritisch zu kommentieren und gegebenenfalls zu ergänzen. Sie können dazu im Arbeitskreis IUUI aktiv werden (iuui@zmms.tu-berlin.de) oder Ihre Version einer Definition von *intuitiver Benutzbarkeit* als Gegenentwurf veröffentlichen. Der special issue zu diesem Thema wird voraussichtlich im Juli 2007 erscheinen.

## Danksagungen

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmern der durchgeführten Workshops und Befragungen für offene sehr interessante Diskussionen und die wertvolle konstruktive Unterstützung. Arbeiten, die im GRK prometei stattfanden, wurden von der DFG finanziert.

## Literatur

- Anderson, J. R. (1996) *Kognitive Psychologie*. (2. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akad. Verlag.
- Blackler, A. L., Popovic, V. & Mahar, D. P. (2005a). Intuitive Interaction with Complex Artefacts. In J. Redmond, D. Durling & A. de Bono (Hrsg.). *Proceedings Futureground. Design Research Society International Conference 2004*. Melbourne, Australia.
- Blackler, A. L., Popovic, V. & Mahar, D. P. (2005b). Intuitive Interaction Applied to Interface Design. In *Proceedings International Design Congress - IASDR 2005*, Douliou, Taiwan.
- DIN EN ISO 9241-10 (1996). Grundsätze der Dialoggestaltung. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit. Berlin: Beuth
- DIN EN ISO 9241-11 (1999). Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit. Berlin: Beuth
- Holtzblatt, K., Wendell, J. B. & Wood, S. (2005). *Rapid contextual design: a how-to guide to key techniques for user-centered design*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Hurtienne, J., Mohs, C., Meyer, H. A., Kindsmüller, M. C., Israel, J. H. & die IUUI Research Group (in Druck). Intuitive Use of User Interfaces - Definition und Herausforderungen. *i-com - Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien*, München.
- Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In *Proc. CHI '97*, Atlanta, Georgia USA, March 1997, ACM Press, S.234-241.
- Israel, J. H. (in Druck) Experimentelle Untersuchung zu Hybriden Objekte in Virtuellen Umgebungen. Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen, 53. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Magdeburg 28.2.-2.3.2007. Dortmund: GfA Press.

- Johnson, M. (1987). *The body in the mind. The bodily basis of meaning, imagination, and reason*. Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Mohs, C., Hurtienne, J., Israel, J. H., Naumann, A., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A. & Pohlmeier, A. (2006a). IUUI – Intuitive Use of User Interfaces. In Bose-nick, T., Hassenzahl, M., Müller-Prove, M. & Peissner, M. (Hrsg.). *Usability Professionals 2006*. Stuttgart: German Chapter der Usability Professionals' Association. S.130-133.
- Mohs, C., Hurtienne, J., Scholz, D. & Rötting, M. (2006b). Intuitivität - definierbar, beeinflussbar, überprüfbar. In *Ueware 2006 - VDI Berichte Nr. 1946*, Düsseldorf: VDI-Verlag. S.215-224.
- Spool, J. M. (2005). *What Makes a Design Seem 'Intuitive'?*. Online-Dokument verfügbar unter: [http://uie.com/articles/design\\_intuitive](http://uie.com/articles/design_intuitive) (letzter Zugriff: 29. Okt. 2006).



# Potenzial der Anwendung von VR-Interaktionstechniken im Usability-Testing

ANJA NAUMANN<sup>1</sup> & JOHANN HABAKUK ISRAEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsche Telekom AG Laboratories (T-Labs), Technische Universität Berlin

<sup>2</sup> Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin

*Schlüsselwörter: Virtual Reality, Augmented Reality, Tangible User Interfaces, VR-Interaktionstechniken, Usability, Virtuelle Produktentwicklung*

## Zusammenfassung

Methoden der Virtual Reality (VR) Technologie haben Einzug in die Produktentwicklung gefunden und werden dort vorrangig in den frühen Phasen eingesetzt. Uns interessiert hier die Frage, inwieweit VR für das Usability-Testing genutzt werden kann. Ziel des Artikels ist es, für diese Nutzung Potentiale, Probleme und Alternativen aufzuzeigen. Wir gehen dabei auf virtuelle Prototypen ein und betrachten den Bereich Ergonomie insbesondere im Hinblick auf Interaktionsaspekte. Wir argumentieren, dass neue VR-Interaktionstechniken, bei denen der Benutzer direkt mit physischen Prototypen statt durch Interaktionsgeräte interagiert, aussagekräftigere Testergebnisse versprechen.

## 1. Virtual Reality (VR)

Virtual Reality (VR; Virtuelle Realität) ist eine Technologie, in der hauptsächlich dreidimensionale Computergrafik verwendet wird, um eine realistisch aussehende Welt zu simulieren. Diese synthetische Welt ist nicht statisch sondern reagiert auf Aktionen des Nutzers, wie beispielsweise Kopf- und Handbewegungen, Gesten und verbale Kommandos. Damit ist ein Hauptmerkmal von VR definiert: die *Echtzeit-Interaktivität*, d.h. Nutzeraktionen führen ohne wahrnehmbare Zeitverzögerung zur Umgestaltung der virtuellen Umgebung. Die Interaktivität leistet einen wichtigen Beitrag zum Gefühl der *Immersion*, d.h. dem Gefühl des direkten Einbezogeneins in die Umgebung. Dabei geht das Erleben über das reine Sehen und Manipulieren von grafischen Objekten auf einem Bildschirm hinaus. Die Objekte können, entsprechen-

de haptische Interaktionsgeräte vorausgesetzt, auch berührt und gefühlt werden. Prinzipiell können alle wichtigen sensorischen Modalitäten verwendet werden: Sehen, Hören, Berühren, Riechen, Schmecken, etc. (Burdea & Coiffet 1994).

Virtuelle Realität kann als Basistechnologie zur Lösung realer Probleme eingesetzt werden, beispielsweise in der Entwicklung von Produkten und Anlagen, im Usability-Testing oder in der Medizin. Dabei ist das Ausmaß, in welchem eine Applikation gut funktioniert und ein spezifisches Problem lösen kann, abhängig von der menschlichen Vorstellungskraft (*Imagination*). VR ist daher eine Triade aus drei „I“, in der Immersion, Interaktion und Imagination zusammenspielen (Burdea & Coiffet 1994).

## 2. VR-Interaktionstechniken

Jacob (1990) definiert eine Interaktionstechnik als „einen Weg, ein physisches Eingabegerät zu benutzen, um in einem Mensch-Computer-Dialog eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen“. Nach Bowman, Kruijff, LaViola & Poupyrev (2004) lassen sich komplexe Interaktionsaufgaben in typischen VR-Umgebungen in wenige basale Interaktionsaufgaben aufgliedern:

- *Manipulation*: Kontrolle extrinsischer Objekteigenschaften (Position, Orientierung), auch Canonical Manipulation Tasks (CMT).
  - *Selektion*: Für time multiplexed (sequentielle) Interaktionstechniken ist die Selektion zur expliziten Kommunikation des Interaktionsfokus nötig. Im VR-Kontext werden so die zu manipulierenden virtuellen Objekte ausgewählt.
  - *Positionieren*: Kontrolle der Position virtueller Objekte.
  - *Orientieren*: Kontrolle der Orientierung virtueller Objekte.
- *Navigation*: Bestimmen des betrachteten Ausschnitts der Virtuellen Umgebung.
- *System Control*: Steuerung der Parameter des VR-Systems.

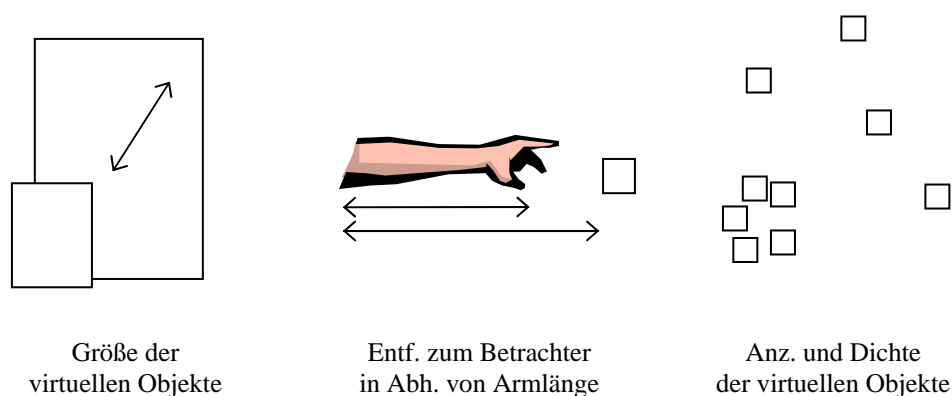


Abbildung 1. Einflussfaktoren auf die Wahl einer VR Interaktionstechnik (nach Bowman et al. 2004)

Bowman et al. (2004) nennen verschiedene Einflussfaktoren für die Wahl einer VR Interaktionstechnik (siehe Abbildung 1):

- *Größe der virtuellen Objekte.*
- *Entfernung der virtuellen Objekte vom Benutzer in Abhängigkeit von dessen Armlänge.*
- *Anzahl und Dichte der virtuellen Objekte.*

## 2.1 Klassische VR-Interaktionstechniken

In den meisten VR-Systemen sind Interaktionstechniken mittels Datenhandschuhen, Zeigegeräten und Spracheingabe gebräuchlich. Mit den vorhandenen Interaktionsgeräten können virtuelle Objekte in der Regel nur *sequentiell* (time multiplexed) *manipuliert* werden, was ein explizites Setzen (*Selektieren*) des Interaktionsfokus bspw. über Gesten oder verbale Kommandos erfordert. Sie unterscheiden sich deshalb zwar in der Modalität aber nicht im Interaktionskonzept von den aus 2D-Schnittstellen bekannten Mauszeigern, Menüs und Kommandos und teilen deshalb auch viele derer Nachteile wie geringe Interaktionsbandbreite vom Benutzer zum System, lange Einarbeitungszeit und Ergonomieprobleme (Nielsen 1996).

Klassische VR-Interaktionstechniken können nach Bowman et al. (2004) unterschieden werden in:

- *Pointing*: Der Benutzer selektiert Objekte über einen Strahl und kann sie anschließend manipulieren (bspw. Ray-Casting, Flashlight, Image-Plane-Technique).
- *Virtual Hand*: Die Handbewegungen des Benutzers werden auf ein digitales Handmodell abgebildet, mittels dessen Objekte selektiert und manipuliert werden können (bspw. einfache Virtual Hand, Go-Go).
- *World-in-a-Miniature*: Der Benutzer selektiert und manipuliert Objekte in einer miniaturisierten Kopie der Umgebung (bspw. Voodoo Dolls).

Zum Usability-Testing eignen sich klassische VR-Interaktionstechniken nur sehr eingeschränkt, da sie in hohem Maß künstlich sind und der Benutzer seine hoch ausgebildeten sensomotorischen Fähigkeiten nicht in dem Maß einsetzen kann, wie er es mit dem tatsächlichen Produkt täte.

## 2.2 Neue VR-Interaktionstechniken

Heutige VR-Systeme können die taktilen und kinästhetischen Eigenschaften von digitalen Objekten nur unzureichend darstellen. Direkte Interaktionen wie Greifen und Manipulieren von digitalen Objekten sind derzeit kaum möglich, da Interaktionen in der Regel durch Eingabegeräte wie Datenhandschuhe oder Zeigegeräte vermittelt werden oder, wie bei auf Gesten basierenden Interaktionen, jeglicher haptischer Komponente entbehren.

Ansätze diese Defizite zu mindern, können aus alternativen Mensch-Computer- und VR-Interaktionskonzepten übertragen werden, beispielsweise Ubiquitous Computing (Weiser 1993), Augmented Reality (AR; Azuma 1997, Milgram & Kishino 1994), Noncommand-Based Interaction (Nielsen 1996) und Tangible Interaction (Ishii & Ullmer 1997, Fitzmaurice 1996, Ullmer & Ishii 2000). All diese Konzepte haben gemein, dass sie die strenge Trennung in Ein- und Ausgabegeräte aufheben, da die

interaktiven Elemente entsprechender Systeme meist physische Objekte aus der Umgebung des Benutzers sind und sowohl als Ein- als auch Ausgabekanäle dienen.

### 2.2.1 Augmented Reality (AR)

Augmented Reality (AR; erweiterte Realität) Systeme integrieren physische und virtuelle Räume, indem videobasierte Ausschnitte der realen Umgebung selektiv mit virtuellen Objekten überlagert werden. Um einen Bezug zwischen beiden Welten herstellen zu können, müssen räumliche Merkmale der realen Umgebung vom System erkannt werden. Dies geschieht meist durch die Verwendung einfach zu detektierender Markierungen, die in der realen Umgebung an vordefinierten Punkten angebracht werden (siehe Abbildung 2).

AR entwickelt sich neben der meist immersiv eingesetzten VR zu einer immer wichtigeren Technologie. Durch die Entwicklung neuer Hardware, beispielsweise leistungsstarker tragbarer Computer, verbesserter Anzeigetechnologien und Eingabegeräte, kann das Verständnis und die Nutzung von Computern durch AR neu definiert werden (Broll, Lindt, Ohlenburg, Herbst, Wittkämpfer & Novotny 2005).

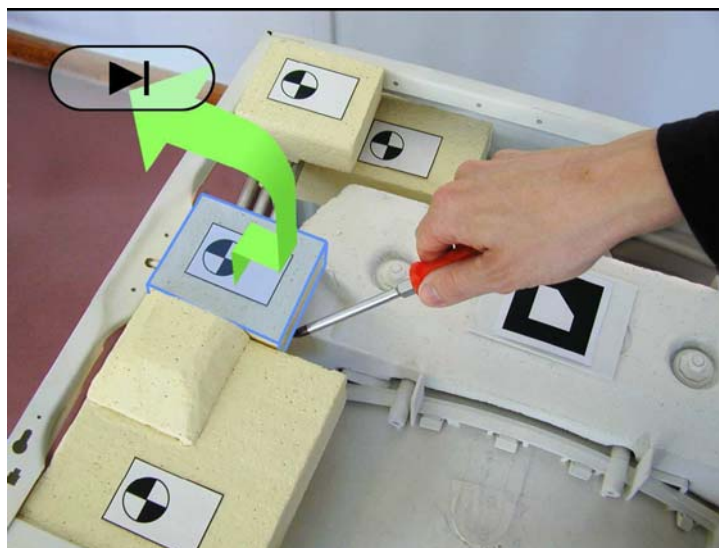


Abbildung 2. AR-basierte Demontagesimulation (aus Ruhe & Sadilek 2004)

AR hat das Potential, viele Anwendungsfelder positiv zu beeinflussen. Innerhalb der letzten Jahre wurden vielversprechende Prototypen entwickelt, beispielsweise in den Bereichen Architektur und Stadtplanung, Bauwesen und Produktionsplanung, Lehre, Bildung und Training und Spielen (siehe Broll et al. 2005).

### 2.2.2 Tangible User Interfaces (TUI) und Props

*Tangible User Interfaces* (TUI; Fühlbare Benutzungsschnittstellen) sind physische Objekte, die digitale Funktionen und Informationen mit physischen Objekteigenschaften und Merkmalen verknüpfen (Ishi & Ullmer 1997). Erfolgreiche TUIs integrieren Eingabe- und Ausgaberaum, erlauben Trial-and-Error Exploration („Ausprobieren“) und basieren auf festen 1:1 Zuordnungen von physischem Objekt und digitalem Objekt bzw. digitaler Funktion (Sharlin, Watson, Kitamura, Kishino & Itoh

2004). Zu den wichtigsten Eigenschaften von Tangible User Interfaces gehört die Möglichkeit der unmittelbaren Manipulation der digitalen Objekte ohne Vermittlung durch Eingabegeräte. Benutzer können Tangible Objects direkt greifen und deren extrinsische Eigenschaften (Ausrichtung und Position im Raum) und intrinsische Eigenschaften (Form, Farbe und Zustand) wahrnehmen und manipulieren, ohne vom System vorgegebene künstliche Interaktionstechniken berücksichtigen zu müssen.

Tangible Interfaces können ähnlich Passive Haptic Displays (*Props*, siehe Hinckley, Pausch, Goble & Kassell 1994) in Virtuelle Umgebungen integriert werden. Dazu können bspw. Methoden der AR genutzt werden, ohne jedoch virtuelle und reale Welt vollständig zu verschmelzen. So bleibt der Interaktionsraum klar abgegrenzt (Dourish 2001), und ergonomisch vorteilhafte Techniken wie nichtimmersive Holo-benchumgebungen können eingesetzt werden.

Abbildung 3 zeigt ein TUI, das mittels Kraftrückkopplungsarmen in eine virtuelle Umgebung integriert werden kann. Die Manipulationen am Objekt erfolgen per Hand und sind denen im realen Einsatz in Bezug auf visuelles, taktiles und kinästhetisches Erleben sehr ähnlich (s. 3.2.).

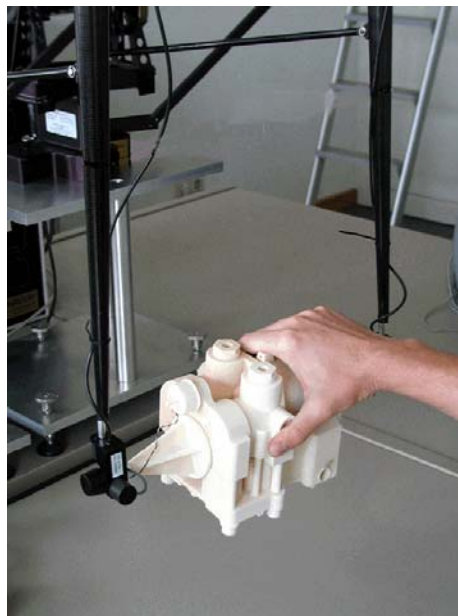


Abbildung 3. *Tangible Interface zur Integration in Virtuelle Umgebungen, hier mit Vorrichtungen zur Kraftrückkopplung (aus Krause, Israel, Neumann & Beckmann-Dobrev 2005).*

Ein Problem, das durch das Einbringen von physischen Objekten entsteht, ist die Verdeckung (Occlusion): Virtuelle Objekte, die je nach Projektionstechnik räumlich vor oder hinter einem physischen Objekt liegen, werden durch dieses verdeckt. Dieses Problem besteht in allen AR- und VR-Systemen (bspw. Holo-bench, CAVE) und lässt sich schwer lösen. Der damit einhergehende Verlust an Realitätsnähe ist erheblich.

### 3. Anwendungspotential von AR und VR in der Industrie

In der Virtuellen Produktentwicklung (VPE) werden immer häufiger Methoden der VR eingesetzt, um „...die geometrischen, technologischen, physikalischen, stylingbezogenen sowie umweltbeeinflussenden Eigenschaften eines Produktes für den Menschen umfassend erfahrbar zu machen.“ (Spur & Krause 1997, S. 31). Dabei wird AR vor allem im Fertigungsprozess verwendet, beispielsweise bei Montagetätigkeiten in *ARsembly*-Anwendungen, wo abzuarbeitende Teilelisten in ein Head Mounted Display projiziert werden (Tang, Owen, Biocca & Mou 2003, Wiedenmaier, Oehme, Schmidt & Luczak 2003). Für einen Vollschicht-Einsatz müssen die Technologien jedoch noch ergonomisch verbessert und Langzeitstudien zu einer möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigung der Nutzer durchgeführt werden.

VR wird vorwiegend in Bereich Computer Aided Design (CAD) und Virtual Prototyping eingesetzt. In der Kunststoff verarbeitenden Industrie gibt es beispielsweise zahlreiche Anwendungen für 3-D-Visualisierungen. Fehlfunktionen können dadurch frühzeitig erkannt und die Herstellung teurer fehlerhafter Komponenten begrenzt oder sogar verhindert werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Fahrzeugindustrie. In VR kann ein Fahrzeug wiederholt zusammengesetzt werden, bis die optimale Montageabfolge gefunden ist, die Abstände und den Zugang für Werkzeuge berücksichtigt. Auch hier wird so der Bau von fehlerhaften Prototypen eingegrenzt.

Durch VR wird die Simulation von 3D-Modellen in realer Größe schon vor der Herstellung physischer Modelle ermöglicht, was die Notwendigkeit für Überarbeitungen reduziert und damit trotz des Aufwandes der Erstellung der VR-Umgebung Zeit und Kosten spart.

#### 3.1 VR als Werkzeug für Usability-Testing

Die Anwendung von VR als Werkzeug für Usability-Testing innerhalb des Konstruktions- und Designprozesses ist äußerst sinnvoll. Die VR-Nutzung beinhaltet dabei sowohl die Erstellung virtueller Prototypen als auch virtueller Umgebungen für reale Prototypen. Zusätzlich können digitale Menschmodelle eingesetzt werden, die aufwändige Nutzertests in frühen Phasen ablösen können.

*Usability-Testing* beinhaltet Messungen zur Gebrauchstauglichkeit eines Produktes, d.h. zum Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem Nutzungskontext verwendet werden kann, um bestimmte Ziele *effektiv, effizient* und *zufriedenstellend* zu erreichen (DIN EN ISO 9241-11 2003). Der Nutzungskontext besteht aus den Benutzern, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmitteln (Hardware, Software und Materialien) sowie der physischen und sozialen Umgebung, in der das Produkt eingesetzt wird.

##### 3.1.1 Virtuelle Prototypen

Die Nutzung von VR für das Usability-Testing bietet die Möglichkeit, Designkonzepte insbesondere in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses zu evaluieren und damit Kosten für die Überarbeitung von Designkonzepten oder Prototypen erheblich zu reduzieren. Positive Erfahrungen werden hier zum Beispiel aus der Fabrikplanung und aus der Automobilindustrie berichtet.

Reiche (2005) sieht in der Verwendung eines virtuellen Modells einer Chemiefabrik (DEGUSSA) ein deutliches Potential für das Überprüfen der Benutzbarkeit und Zugänglichkeit der Anlage. Zum einen besteht die Möglichkeit der Interaktion der Konstrukteure oder zukünftigen Benutzer innerhalb des Modells, d.h. die Nutzer arbeiten und diskutieren aktiv im Modell. Zum anderen wird durch diese Art der Modelldarstellung die Verständlichkeit des Modells erhöht (z.B. gegenüber einer Bildschirmdarstellung): die Nutzer haben einen realistischen Raumeindruck, ein besseres Verständnis der Relationen und können Dimensionen besser bewerten. Reiche verwendete eine große Projektionsleinwand (Power Wall) mit einem Benutzer in der Mitte. Es konnte sowohl eine hohe Akzeptanz unter den Nutzern als auch eine Erhöhung der Planungsqualität gezeigt werden. Allerdings ist eine Vorbereitung der VR-Sitzung mit Hilfe konventioneller Gutachten trotzdem nötig, und der hohe finanzielle Aufwand für die VR-Sitzungen lohnt sich erst für größere Projekte. Als Nachteile erwiesen sich das längere Arbeiten in einem abgedunkelten Raum und das relativ langsame Auffinden von Objekten (z.B. Rohren oder Geräten). Großes Potential hat der Einsatz von VR auch für die Ausbildung und das Training der zukünftigen Benutzer solch einer Anlage.

General Motors (GM) verwendet VR für das kollaborative Design von Fahrzeuginnenräumen. Dabei kommt eine Kombination aus Immersive Perspective Technologies (IPTs) mit realen Sitzen und Lenkrad zum Einsatz (Props). Vorteile sind dabei das Erleben des Fahrzeugs in voller Größe und die am physischen Produkt orientierten Interaktionsmöglichkeiten. Im Rahmen des kollaborativen Designs kann die Szenen-Grafik zusätzlich über verschiedene, in einem Netzwerk verbundene Computer modifiziert werden, unterstützt durch verteilte Kommunikation, Interaktion und Entwicklung.

Im *vehicle interaction lab* am Fraunhofer Institute of Industrial Engineering IAO wurden ebenfalls verschiedene Projekte zur Entwicklung virtueller Prototypen von Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug und zur Evaluation der Prototypen und zum Einsatz von Nutzertests durchgeführt. SAVE beschäftigte sich dabei mit der Oberfläche eines Systems zur Fahrerzustandsüberwachung und zum Notfallmanagement, in COMMUNICAR wurde eine Multimedia-Schnittstelle für das Fahrzeug entwickelt, und innerhalb von SAVE-GUARD wurden anthropometrische Tests mit Menschmodellen in virtuellen Umgebungen durchgeführt.

VR ist prinzipiell geeignet, schon in einer frühen Phase im Entwicklungsprozess den ästhetischen Eindruck eines Produktes und dessen subjektiv wahrgenommenen Komfort zu überprüfen. Zu beachten ist jedoch, dass systematische Wahrnehmungsverzerrungen auftreten können (z.B. Farbe und Raumeindruck, siehe Arthur, Hancock & Chrysler 1997).

### **3.1.2 Ergonomie**

VR kann in zahlreichen weiteren Bereichen der Messung von Benutzbarkeit eingesetzt werden. So können beispielsweise Sicht- und Aktionsbereiche bei industriellen Arbeitsplätzen getestet werden. Besonders die Visualisierung von Gefahren oder schlechten Sichtverhältnissen bei Nebel (Shahrokhi & Bernard 2004) kann durch die Generierung dynamischer virtueller Räume unterstützt werden. Damit bietet VR auch erhebliches Potential für Gefahrentrainings und Evakuierungsszenarien.

### *Digitale Menschmodelle*

Weite Verbreitung finden mittlerweile digitale Menschmodelle, vorwiegend für ergonomische und anthropometrische Fragestellungen, wie Fragen zur Wirkung von Kräften, zur Erreichbarkeit von Objekten und zu Sichtvermögen und Komfort. Digitale Menschmodelle sind dreidimensionale computergrafische Darstellungen des menschlichen Körpers. Obwohl nicht VR im engeren Sinne (Immersion ist nicht gegeben), so gewinnen doch digitale Menschmodelle in der Interaktion mit virtuellen Prototypen und damit in einem, zumindest in frühen Stadien, komplett virtuellen Entwicklungs- und Testungsprozess immer mehr an Bedeutung (Duffy 2006). Im Computer Aided Design (CAD) kombiniert eine Simulationssoftware (z.B. RAMSIS, ANYBODY) menschliche 3D-Geometrien (biomechanische Modelle) mit 3D-Geometrien von Produkten, damit Aussagen darüber möglich werden, wie gut das jeweilige Design an die Menschen angepasst ist, die damit interagieren sollen. Dabei kann eine große Variabilität von unterschiedlichen Körpermaßen abgedeckt werden (z.B. auch Stühle für übergewichtige Personen, Erreichbarkeit für kleine Personen, Sichtfeld mit Helm). Ein Beispiel für die Gefahrenanalyse an einem Bergbau-Arbeitsplatz mit eingeschränktem Sichtfeld in einer schlecht beleuchteten Umgebung ist in Abbildung 4 dargestellt.



*Abbildung 4. Digitales Menschmodell JACK mit Sichtfeld an einem Bergbauarbeitsplatz (aus Bartels, Ambrose & Wang 2001).*

Durch die Verwendung digitaler Menschmodelle innerhalb eines digitalen Prototypen kann die Entwicklungszeit verkürzt werden, da eine Evaluation schnell möglich ist. Die Qualität der Designvarianten kann so insgesamt erhöht werden. Um menschliche Bewegungen in einem Modell zu simulieren, müssen diese gemessen und dann mit dem digitalen Menschmodell zusammengebracht werden. Die Messung der Bewegung im Raum kann beispielsweise über das Tracking von Markern an Kopf, Armen und Beinen oder über Videoanalyse erfolgen. Bewegungsmodellierung ist ein zentraler Aspekt bei der Untersuchung von Ergonomie- und Usability-Fragestellungen, insbesondere bei der Frage nach dem Greifen und der Erreichbarkeit von Objekten oder Geräten oder dem Heben von meist schweren Gegenständen (Chaffin 2005). Problematisch ist hier, dass Personen ein relativ stabiles Bewegungsmuster für gleiche Handlungen ausbilden, interindividuelle Unterschiede jedoch sehr groß sind (Latash 1998).



Nachteile heutiger digitaler Menschmodelle sind die mangelnde Flexibilität im Hinblick auf die Freiheitsgrade des menschlichen Körpers und die komplizierte Benutzung (Gawron, Dennison & Biferno 2002). In biomechanischer Simulation wird die Dynamik von Bewegungen bisher zu wenig berücksichtigt, z.B. können schnellere Bewegungen zu Verletzungen führen. Es gibt jedoch Ansätze und Erfolge in der Weiterentwicklung und Modifizierung der Modelle. So können beispielsweise Bewegungen vorhergesagt werden, indem in einem CAD-System gespeicherte und modifizierbare Basisbewegungen abgerufen werden (z.B. Park, Chaffin & Martin 2004).

Um Testsettings in virtuellen Umgebung denen der realen Welt anzupassen, in der man von Menschen umgeben ist und mit diesen interagiert, ist auch die Verwendung weiterer virtueller Menschen möglich, die beispielsweise in einem zu gestaltenden Zugabteil sitzen.

### 3.2 Neue Methoden des VR basierten Usability-Testing

Nicht Eingabegeräte sondern physische Objekte bilden die Benutzungsschnittstelle neuer VR-Interaktionstechniken, die sich aus einer Reihe von Gründen für den Einsatz im VR basierten Usability-Testing eignen:

- Die Produkte können direkt ohne Umwege über Interaktionsgeräte manipuliert und getestet werden.
- Haptische Produkteigenschaften lassen sich realistisch simulieren.
- Beidhändige Manipulationen sind möglich.
- Wahrnehmungs- und Bewegungsraum sind per se integriert (unterstützt sensorische Koordination, räumliches Orientierungsvermögen und motorisches Gedächtnis).

Nachteilig erweisen sich die hohen Kosten der Herstellung realistischer Prototypen mittels Methoden des Rapid Prototyping (Dreher 2005), welche jedoch durch den Einsatz Hybrider Objekte gesenkt werden können.

*Augmented Reality* Methoden eignen sich aufgrund der Möglichkeit, unmittelbar in der potentiellen Nutzungsumgebung zu testen sehr gut für das Usability-Testing. Sie sollten insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn die Umgebung des Prototyps dessen Gebrauchstauglichkeit entscheidend beeinflusst. Der vorherrschende Einsatz von Head-Mounted-Displays (HMDs) mindert jedoch die Einsatzmöglichkeiten im Usability-Testing, da diese unergonomische Gebrauchseigenschaften haben.

Zur Simulation haptischer Produkteigenschaften werden in der Virtuellen Produktentwicklung (VPE) rein physische Prototypen mit Methoden des *Rapid Prototyping* (RP) erstellt, um auch in frühen Phasen Aussagen über taktile und kinästhetischen Produkteigenschaften treffen zu können. Um diese Prototypen in VR-Umgebungen testen und mit digitalen Funktionen erweitern zu können, kann man sich des Konzepts der *Tangible User Interface* bedienen. Dies insbesondere dann, wenn der Gebrauch des Prototypen von häufigen direkten Objektmanipulationsinteraktionen geprägt ist, wie bspw. bei vielen elektronischen Konsumgütern, und ein Verzicht auf die hoch ausgebildeten Benutzerfähigkeiten wie automatisierte Greif- und Manipulationsinteraktionen, multimodale Interaktion, sensorische Koordination und motorisches Gedächtnis zu einer Verzerrung des Usability-Testings führen würden. Die Wichtigkeit physischer Prototypen für das Usability-Testing wird von Evans und Gill (2006) unterstrichen. In ihrer Studie zum Gebrauch von Mobiltelefonen stellen sie

fest, dass auf flachen Touchscreens basierende Prototypen schlechtere Aussagen über Effizienz und Effektivität des Gebrauchs zulassen als physische oder physisch/grafische Prototypen.

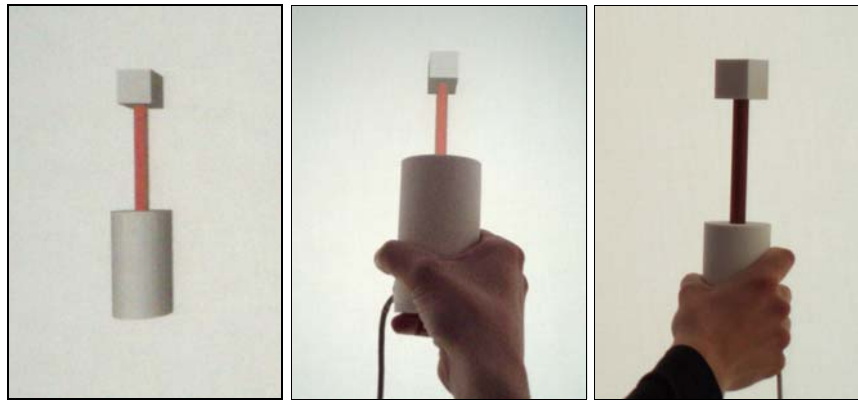


Abbildung 5. Virtuelle, hybride and rein physische Variante desselben Modells (Foto: Fraunhofer IPK).

Aus Kosten- und Flexibilitätsgründen kann es sinnvoll sein, nicht den vollständigen Prototyp physisch zu produzieren, sondern Bestandteile, deren haptische Eigenschaften nicht von Relevanz sind, als virtuelle Grafiken räumlich korrekt in die Szene zu integrieren (Hybride Objekte, Abbildung 5). Solche Hybriden Objekte vereinen viele Vorteile physischer und digitaler Objekte, insbesondere:

- Effiziente Interaktionen (Greif- und Manipulationsinteraktionen).
- Hohe Flexibilität und leichte Änderbarkeit.
- Geringe Herstellungskosten.
- Kosten unabhängig von geometrischer Objektgröße.
- Simulation interaktiver Produkteigenschaften (Anzeigen, Beleuchtung).

### 3.3 VR basierte Konstruktion

Neben reinen Usability-Testings mit avisierten Nutzern in virtuellen Umgebungen existieren im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung bereits verschiedene Ansätze, digitale Produktmodelle auch im VR zu konstruieren (Stork 2000), auch solche, die Konzepte des Tangible Interaction verwenden (De Amicis, Conti & Fiorentino 2004). Dem Konstrukteur wird hier ein einheitlicher Konstruktions- und Wahrnehmungsraum zur Verfügung gestellt, in dem er die Auswirkungen seiner Handlungen direkt am digitalen Modell, ggf. in Originalgröße, beobachten kann. Dieser Ansatz ist dahingehend vielversprechend, dass er dem Arbeiten am „realen“ Modell näher kommt (bspw. Virtual Clay Modeling, Biahmou Tchetchou 2005) und sensomotorische Fertigkeiten des Konstrukteurs stärker einbindet. Belastbare Ergebnisse, ob dadurch Effizienz und Kreativität des Konstrukteurs und Designers beeinflusst werden, liegen jedoch noch nicht vor.

Um VR in den Produktentwicklungsprozess zu integrieren, müssen die meist parametrisiert vorliegenden digitalen Produktmodelle in darstellbare Formate (bspw. VRML) konvertiert werden (Facettierung). Stork (2000) beschreibt Möglichkeiten, die parametrische Beschreibung bei der Konvertierung zu bewahren, damit Ände-

rungen, die am Produktmodell im VR vorgenommen werden, auch in den Produktentwicklungsprozess zurückfließen können.

## 4. Fazit

Wir haben uns mit der Frage beschäftigt, ob und wie Virtual-Reality-Technologien für das Usability-Testing einsetzbar sind. Dazu haben wir zunächst VR-Systeme im Allgemeinen und VR-Interaktionstechniken im Besonderen skizziert und neue Entwicklungen aufgezeigt. Wir haben versucht zu zeigen, dass klassische VR Systeme in vielerlei Hinsicht, vor allem aufgrund der artifiziellen Interaktionstechniken und der ergonomischen Probleme, nur eingeschränkt für das Usability-Testing nutzbar sind. Der Einsatz und die Kombination neuerer Techniken wie Augmented Reality und Tangible Interaction versprechen dagegen eine höhere Aussagekräftigkeit des Usability-Testings in Bezug auf die tatsächlichen Gebrauchseigenschaften, da diese Ansätze vom klassischen geräteparadigmatischen Interaktionsansatz abweichen und statt dessen die unmittelbare Interaktion mit Objekten (den virtuellen Produkten) in den Vordergrund stellen. Weiterhin haben wir dargestellt, wie digitale Menschmodelle das Usability-Testing vor allem ergonomischer Eigenschaften virtueller Produkte in frühen Entwicklungsphasen rationalisieren können und wie durch Anpassung der verwendeten Menschmodelle eine größere Aussagefähigkeit der Testergebnisse erreicht werden kann.

## 5. Literatur

- Arthur, E. J., Hancock, P. A. & Chrysler, S. T. (1997). The perception of spatial layout in real and virtual worlds. *Ergonomics*, 40 (1), 69-77.
- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- Bartels, J. R., Ambrose, D. H. & Wang, R. C. (2001). Verification and Validation of Roof Bolter Simulation Models for Studying Events Between a Machine and its Operator. *Society of Automotive Engineers, Inc., technical paper 2001-01-2088*, 1-14.
- Biahmou Tchetchou, A. R. (2005). *Methoden für das Industriedesign in Virtueller Realität*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola Jr., J. J. & Poupyrev, I. (2004). *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Herbst, I., Wittkämpfer, M., & Novotny, T. (2005). An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces. *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, 11(6), 722-733.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (1994). *Virtual Reality Technology*. New York: J. Wiley & Sons.
- Chaffin, D. B. (2005). *Primary Prevention of Low Back Pain Through the Application of Biomechanics in Manual Materials Handling Tasks* (Vol. 27:1,40-50).

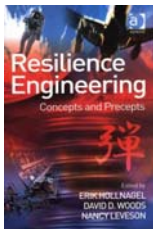
- University of Michigan: Retrieved from <http://gimle.fsm.it/27/1/06.pdf> [24.05.06].
- DIN EN ISO 9241-10, -11 (2003). In: *DIN-Taschenbuch 354: Software-Ergonomie. Empfehlungen für die Programmierung und Auswahl von Software*. Berlin: Beuth
- Dourish, P. (2001). *Where the Action Is, The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Dreher, S. (2005). *Flexible Integration von Rapid Prototyping Prozessketten in die Produktentstehung*. Dissertation, Technischen Universität Berlin.
- Duffy, V. (2006). Digital human modeling for applied ergonomics and human factors engineering. Retrieved from <http://cyberg.wits.ac.za/cb2005/method2.htm> [30.11.06].
- Evans, M. & Gill, S. (in Druck). Rapid Development of Information Appliances: Future Approaches for Designers. In: *Proceedings of the International Design Conference (DESIGN)*. Dubrovnik, Kroatien.
- Fitzmaurice, G. (1996). *Graspable User Interfaces*. PhD Dissertation. University of Toronto, Canada.
- Gawron, V.J., Dennison T.W. & Biferno, M.A. (2002). Mock-Ups, Models, Simulations, and Embedded Testing. In: S.G. Charlton & T.G. O'Brien (Hrsg.), *Handbook of Human Factors Testing and Evaluation* (2nd Edition). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Hinckley, K., Pausch, R., Goble, J. C. & Kassell, N. F. (1994). A Three-Dimensional User Interface for Neurosurgical Visualization, In: *Proceedings of SPIE Conf. on Medical Imaging, 2164*, 126-136.
- Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. In: *Proceedings of the ACM CHI'97*, Atlanta, Georgia, 234-241.
- Jacob, R.J.K. (1990). What You Look At Is What You Get: Eye Movement-Based Interaction Techniques. In: *Proceedings of the ACM CHI'90*. Reading, Mass.: Addison-Wesley/ACM Press, 11-18.
- Krause, F.-L., Israel, J. H., Neumann, J. & Beckmann-Dobrev, B. (2005). A 6-DOF User Interface for Grasping in VR-based Computer Aided Styling and Design. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*. Monterey, CA, USA: ACM Press, 110-112.
- Latash, M.L. (1998). *Progress in motor control*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*, Vol. E77-D, 12.
- Nielsen, J. (1996). Noncommand User Interfaces. *Communications of the ACM*, 36, (4) 83-99.

- Park, W., Chaffin, D.B. & Martin, B.J. (2004). Toward Memory-Based Human Motion Simulation: Development and Validation of a Motion Modification Algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 34 (3), 376-386.
- Ruhe, N. & Sadilek, D. (2004). *MARE - Augmented Reality Environment*. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin.
- Reiche, M. (2005). Virtual Reality – der neue Weg zur Modellvisualisierung im chemischen Anlagenbau. In L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.), *Zustandserkennung und Systemgestaltung – 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 13-14). Düsseldorf: VDI Verlag (ZMMS Spektrum; 19).
- Shahrokhi, M. & Bernard, A. (2004). A fuzzy approach for definition of dangerous zone in industrial systems. In: *2004 IEEE International Conference on Systems, Man, & Cybernetics, Vol. 7*, 6318-6324.
- Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F. & Itoh, Y. (2004). On tangible user interfaces, humans and spatiality. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 8 (5), 338-346.
- Spur, G. & Krause, F.-L. (1997). *Das virtuelle Produkt*. München: Hanser Verlag.
- Stork, A. (2000). *Effiziente 3D-Interaktions- und Visualisierungstechniken für benutzer-zentrierte Modellierungssysteme*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In: *Proceedings of Association for Computing Machinery Computer Human Interaction*, Ft. Lauderdale: FL, 73-80.
- Ullmer, B. & Ishii, H. (2000). Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. *IBM Systems Journal*, 39 (3&4), 915-931.
- Weiser, M. (1993). Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM*, 36(7), 75-84.
- Wiedenmaier, S., Oehme, O., Schmidt, L., & Luczak, H. (2003). Augmented Reality for Assembly Process Design an Experimental Evaluation. *Int'l J. Human Computer Interaction*, 16(3), 497-514.

# Buchrezension: „Resilience Engineering“

SIBYLLE PEUKER

*Institut für Multimediale und Interaktive Systeme, Universität zu Lübeck*



Erik Hollnagel, David D. Woods und Nancy Leveson (Hrsg.)  
*Resilience Engineering. Concepts and Precepts*  
Ashgate Publishing Ltd., 2006.  
ISBN: 0-7546-4641-6

Der Begriff Resilience Engineering charakterisiert eine neue Art und Weise, Sicherheit in sicherheitskritische Systeme „einzubauen“. Während konventionelle Ansätze dominiert sind von Unfallanalysen, Katalogisierung von Fehlern und probabilistischen Risikoanalysen, versucht Resilience Engineering die Fähigkeit einer Organisation zu erhöhen, Prozesse robust und flexibel zu gestalten und Probleme proaktiv bei laufender Produktion und ökonomischem Druck anzugehen. Traditionelle Methoden konzentrieren sich also eher auf die Schwächen des Systems, während Resilience Engineering versucht, die Stärken auszunutzen.

Das Buch „Resilience Engineering“, herausgegeben von Erik Hollnagel, David D. Woods und Nancy Leveson, entstand im Anschluss an ein Symposium im Oktober 2004 in Schweden zu diesem Thema. Wissenschaftler verschiedener international anerkannter Forschergruppen hatten unabhängig voneinander begonnen an ähnlichen Problemen mit ähnlichen Ideen zu forschen und trafen sich in Schweden, um eine gemeinsame vorläufige Definition von Resilience Engineering festzulegen.

Resilienz ist seit längerem ein Forschungsfeld der positiven Psychologie, das sich mit der Frage beschäftigt, warum einige Menschen Lebenskrisen wie schwere Krankheiten, Arbeitslosigkeit oder Krieg und Terror ohne bleibende Beeinträchtigungen überstehen. In letzter Zeit wird der Begriff immer häufiger benutzt, um die Folgen großer Umbrüche für Organisationen und Gesellschaften zu beschreiben.

Eine Arbeitsdefinition des Begriffs Resilienz auf die sich die Autoren des Buches geeinigt haben ist diese: „Resilienz ist die Fähigkeit einer Organisation über einen signifikanten Zeitraum die Einwirkungen interner und externer Ereignisse erfolgreich auszugleichen.“

Der Ansatz des Resilience Engineering beruht nun auf zwei Annahmen: Erstens entstehen Unfälle meist durch eine Verkettung unglücklicher Umstände und selten aufgrund des Versagens einer einzelnen Komponente. Zweitens seien Fehler die notwendige Kehrseite des Erfolgs. Die Ursachen für beide lägen in der variablen Leistung des Gesamtsystems. Der Unterschied bestünde hauptsächlich darin, wie gut das System betrieben wird. Danach macht es also nicht viel Sinn, über „menschliche Fehler“ oder „menschliches Versagen“ zu reden. Stattdessen geht es in vielen Beiträgen um die Organisation, in die das (technische) System eingebettet ist.

Sicherheit sei keine Systemeigenschaft die das System ein für allemal „hat“ sondern etwas das das System „tut“. Das Dilemma ist, dass sich Sicherheit nur durch die Abwesenheit bestimmter Ereignisse zeigt. Ein Unfall bedeutet dabei nicht unbedingt, dass ein System nicht sicher ist, sondern eventuell nur, dass absolute Sicherheit nicht zu erreichen ist.

Resilience Engineering versucht also gar nicht erst, Sicherheit als eine Systemeigenschaft zu erreichen. Resilienz wird als eine bestimmte Qualität des Funktionierens gesehen. Das hat zwei Konsequenzen: Man kann nur das Potential für Resilienz messen, nicht Resilienz selbst. Man kann Resilienz auch nicht erreichen, indem man mehr Prozeduren und Barrieren einführt sondern nur, indem man ständig die Leistung des Systems überwacht. Hier fallen mir sofort die Parallelen zum Paradigmenwechsel in der Software-Entwicklung auf: Software wird immer seltener als Produkt mit endgültigen Eigenschaften ausgeliefert, sondern immer öfter als Webservice, der kontinuierlich gewartet werden muss, damit er seine Leistungsfähigkeit behält.

Das Buch ist in drei Teile gegliedert. Im ersten Teil (Emergence, Kapitel 1-7) wird Resilienz aus verschiedenen Blickwinkeln sowohl theoretisch als auch durch illustrative Beispiele beschrieben. Im zweiten Teil (Cases and Processes, Kapitel 8-16) werden Prozesse vorgestellt und an Fallbeispielen gezeigt, wie man Resilienz erreichen kann. Im dritten Teil (Challenges for a Practice of Resilience Engineering, Kapitel 17-21) wird diskutiert, wie man solche Prozesse praktisch umsetzen kann. Im Epilog werden einige immer wiederkehrende Themen noch einmal von Hollnagel und Woods zusammengefasst.

## **Fazit**

Es gibt im Buch den Grundtenor, dass wir eine neue Herangehensweise an Sicherheit in Organisationen brauchen. Wie in einem solchen Buch zu erwarten, sind die Meinungen der Autoren zum Thema nicht völlig homogen. Die grundlegenden Prinzipien sind jedoch schon klar und die Argumente klingen fast immer logisch. Die notwendigen Methoden sind größtenteils noch zu entwickeln und zu erproben.

„So does the resilience approach offer us a paradigm shift or is it just a more positive repackaging of a century of ideas in industrial safety?“ wie Rhona Flin auf Seite 233 fragt. Diese Frage wird im Buch noch nicht abschließend geklärt, aber es tendiert eindeutig zum Ersteren.

Ich selbst habe in vielen Artikeln interessante Thesen gefunden, die mich zum Nachdenken angeregt haben. Ich empfehle das Buch allen, die sich in irgendeiner Weise mit sicherheitskritischen Systemen beschäftigen. Es lohnt sich in jedem Fall, sich

von dem Buch inspirieren zu lassen, um sich selbst eine Meinung über „Resilience Engineering“ zu bilden.

### **Ausblick**

Vom 8.-10. November 2006 fand das zweite *Symposium on Resilience Engineering* statt, das schon im Vorfeld wegen der überwältigenden Nachfrage um einen Tag verlängert wurde. Die im Buch geführte Diskussion wurde dort fortgesetzt und die diskutierten Beispiele reichen von der Katastrophe in New Orleans bis zur Fischfang-Industrie. Die Beiträge zu diesem Symposium sind unter <http://www.resilience-engineering.org/proceedings.htm> verfügbar.