

# 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.

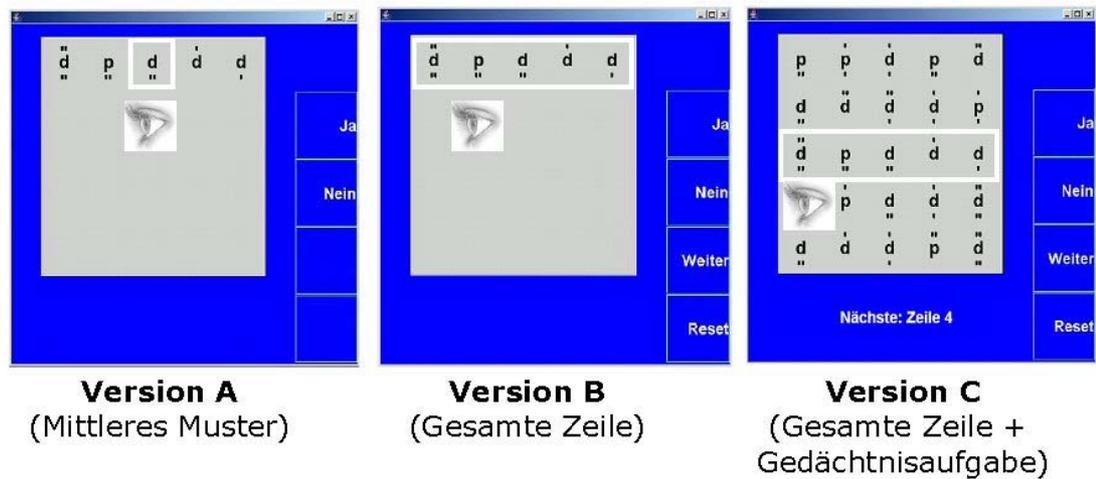
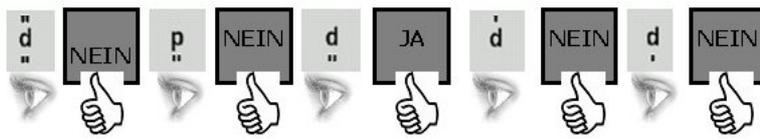


Abbildung 2: D2-Drive als Sekundäraufgabe zur Messung visueller Ablenkung

### 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

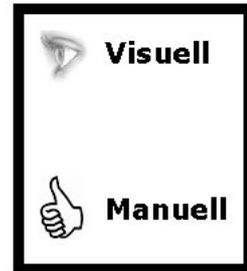
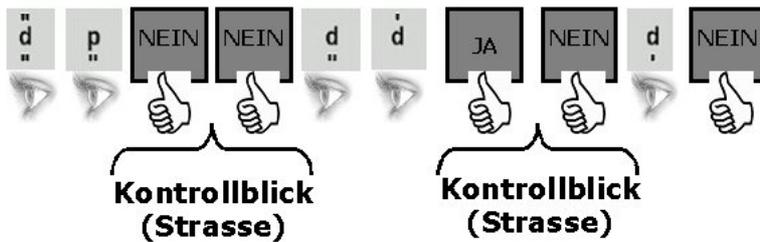


Abbildung 3: Kognitive Strategien unter Multitasking

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.

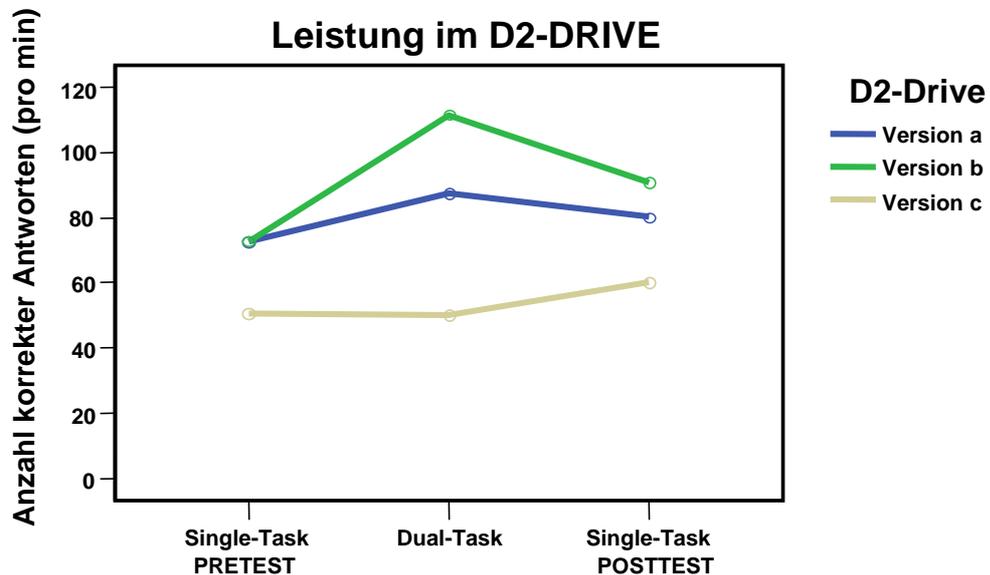


Abbildung 4: Ergebnisse beim D2-Drive in Studie II

#### 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).

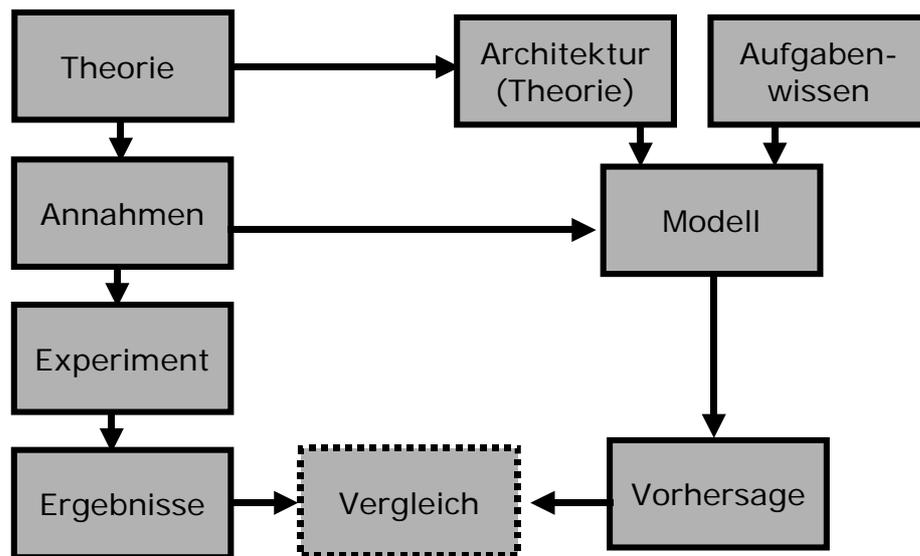


Abbildung 5: Vorgehen bei der Methode der Kognitiven Modellierung

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.

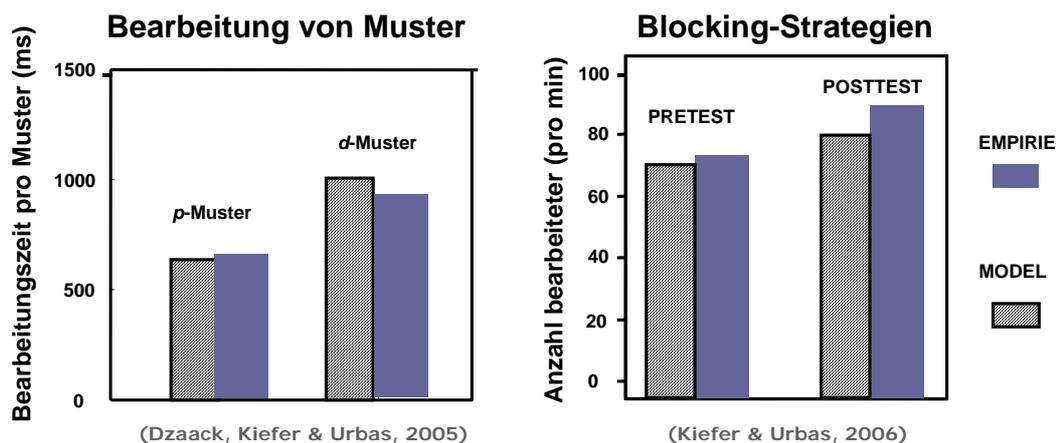


Abbildung 6: Vergleich Empirie vs. Kognitives Modell

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.

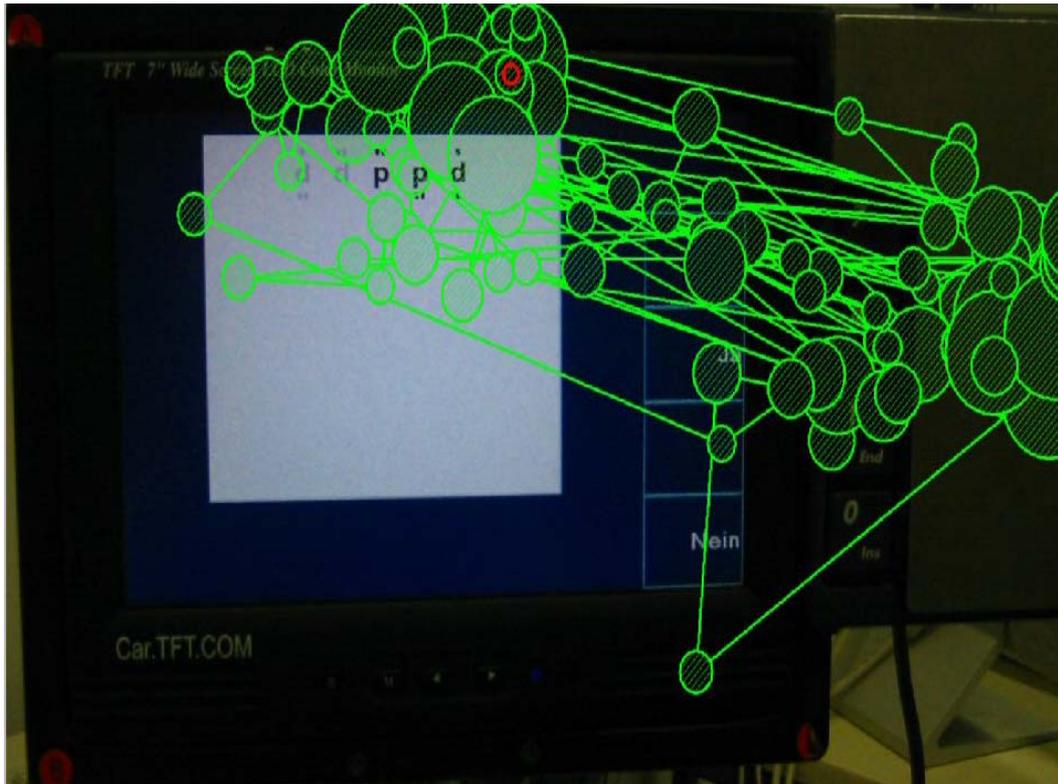


Abbildung 8: Blickpfade bei Studie IV (Schulz et al., submitted)

## 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.