

ACT-CV: Die Erweiterung von ACT-R um Bildverarbeitungsalgorithmen erlaubt die schnelle Erzeugung mächtiger Benutzermodelle

Marc Halbrügge, Barbara Deml, Brigitte A. Färber und Stanislavs Bardins

Zusammenfassung

Ein immer wichtiger werdendes Werkzeug für die prospektive Gestaltung von Artefakten ist die kognitive Modellierung. Dabei werden kognitive Architekturen eingesetzt, deren Aufbau psychologischen Erkenntnissen über die Fähigkeiten und Beschränkungen menschlichen Handelns entspricht, und die damit die Erzeugung valider Benutzermodelle erleichtern. Für den praktischen Einsatz der kognitiven Modellierung bei der Gestaltung muss auch der Entwicklungsaufwand für die Modelle bedacht werden. In dieser Arbeit wird mit ACT-CV ein Werkzeug dargestellt, das die direkte Interaktion der kognitiven Architektur ACT-R mit zu gestaltenden Softwareoberflächen auf einfache Art ermöglicht. Der Einsatz von ACT-R und ACT-CV wird beispielhaft anhand einer Untersuchung zur Wahrnehmung von Autobahnschildern im Fahr Simulator dargestellt.

1 Einleitung

Arbeitswissenschaftliche Fragestellungen, wie die Gestaltung und Evaluation von Benutzerschnittstellen oder anderer Artefakte, werden oftmals empirisch bearbeitet. Viele Ergonomen können aus eigener Erfahrung berichten, dass sich die damit verbundenen Probandenstudien meist als recht kosten- und zeitintensiv erweisen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll mit der kognitiven Modellierung eine Ergänzung zum konventionellen Experiment aufgezeigt sowie damit verbundene Möglichkeiten und Grenzen anhand eines Anwendungsbeispiels diskutiert werden. Zur Einführung in die Thematik wird zunächst die weit verbreitete kognitive Architektur ACT-R vorgestellt, mit der sich relevante Aspekte menschlichen Verhaltens als Computerprogramm beschreiben lassen (siehe Abschnitt 2).

Es liegt auf der Hand, dass ein Computermodell allerdings nur dann einen realen Probanden „vertreten“ kann, wenn es sich einerseits genauso verhält und andererseits überhaupt in der Lage ist, mit der Experimentalumgebung zu interagieren: Die erste Forderung zielt auf die theoriekonforme Implementierung menschlicher Informationsverarbeitungsprozesse ab. Da sich viele ergonomische Studien auf visuelle Aufmerksamkeitstheorien beziehen, soll daran beispielhaft

gezeigt werden, dass ACT-R eine in diesem Sinne valide Modellierung unterstützt (siehe Abschnitt 3).

Um auch die zweite Forderung zu erfüllen und zu ermöglichen, dass ein kognitives Modell mit der gleichen Versuchsumgebung wie ein menschlicher Proband interagiert, wurde im Rahmen dieser Arbeit das Simulationswerkzeug ACT-CV entwickelt (siehe Abschnitt 4).

Inwieweit ACT-R Modelle und ACT-CV nun tatsächlich für die prospektive Gestaltung von Artefakten genutzt werden können, lässt sich am Besten anhand einer konkreten empirischen Fragestellung beantworten. Aufbauend auf eine Versuchsreihe zur Aufnahme von Wegweiseinformation im Straßenverkehr (Färber & Färber, in Druck), wurde ein Folgeexperiment durchgeführt, das sowohl von menschlichen Probanden als auch von einem kognitiven Modell bearbeitet wurde (siehe Abschnitt 5).

2 Kognitive Modellierung

Die *kognitive Modellierung* stellt eine Methode dar, um ausgewählte Aspekte menschlichen Verhaltens komputational zu beschreiben. Das Computerprogramm soll dabei in der Lage sein, bestimmte Aufgaben wie ein Mensch auszuführen und sollte auch mit entsprechenden Ergebnissen aus empirischen Untersuchungen übereinstimmen (z.B. Fehler, Bearbeitungszeit). Aufgrund präziser, quantitativer Vorhersagen ermöglicht die Modellierung ein besseres Verständnis kognitiver Prozesse und ist so zur Formalisierung und Prüfung kognitionswissenschaftlicher Theorien geeignet. Gleichzeitig wird die kognitive Modellierung ein immer wichtigeres Werkzeug, um fiktive Probanden zu simulieren und so die prospektive Gestaltung von Mensch-System-Schnittstellen zu unterstützen.

Den Modellen liegen meist umfassende, psychologisch plausible Vorstellungen zur Funktionsweise des kognitiven Apparates zugrunde. Diese theoretischen Annahmen über die Struktur des menschlichen Gedächtnisses und die Charakteristiken menschlicher Informationsverarbeitung werden als *kognitive Architekturen* bezeichnet (Gluck & Pew, 2005). Mit der Wahl einer Architektur wird eine Entscheidung darüber getroffen, welche Operationen als kognitive Primitive angesehen werden, die keiner weiteren Prozessklärung bedürfen. Im Rahmen der Arbeit soll die Architektur *Adaptive Control of Thought – Rational* (ACT-R Version 6; Anderson et al., 2004) eingesetzt werden. Sie ist nicht nur kognitionswissenschaftlich fundiert, sondern verfügt darüber hinaus durch ihre hohe zeitliche Auflösung über sehr spezifische Abbildungsmechanismen.

ACT-R gehört zur Gruppe der Produktionssysteme. Im Rahmen der Arbeit sollen nur ihre wichtigsten Komponenten dargestellt werden (siehe Bild 1); für eine ausführlichere Darstellung sei auf Anderson et al. (2004) verwiesen:

- a) Module: ACT-R ist ein modulares System. Beispielsweise wird die Schnittstelle zur realen Welt von den *Perceptual-Motor-Modulen* gebildet,

wobei insbesondere das visuelle und motorische Modul hervorzuheben sind. Darüber hinaus sind zwei *Gedächtnismodule* realisiert: Das Faktenwissen (z.B. Autobahnschilder sind blau mit weißer Schrift) ist im *deklarativen Gedächtnis* gespeichert; die elementaren Wissensseinheiten werden als *Chunks* bezeichnet. Das Handlungswissen (z.B. Auto fahren) ist im *prozeduralen Gedächtnis* hinterlegt; die elementaren Kognitionsprozesse stellen hier *Produktionsregeln* dar. Das Wissen (d.h. Chunks, Produktionen) muss durch den Modellierer nach einer bestimmten Syntax, die auf der Programmiersprache LISP basiert, definiert werden.

- b) Puffer-Speicher: Jedes Modul – mit Ausnahme des prozeduralen Gedächtnisses – verfügt über einen spezifischen Speicher (*Buffer*), der die Schnittstelle des Moduls zum System darstellt. Obwohl viele Prozesse in der Architektur parallel ablaufen, kann jeder Speicher immer nur einen Chunk aufnehmen, der den aktuellen Modulzustand repräsentiert. Dieser Flaschenhals wird der menschlichen Ressourcenbegrenzung bei der zentral-sensorischen Verarbeitung gerecht.
- c) Bedingungsprüfung: Kognitive Prozesse und die Interaktion mit den Speichern finden über Produktionsregeln statt, die im prozeduralen Gedächtnismodul implementiert sind und die jeweils aus einem Bedingungs- und einem Handlungsteil bestehen. Liegt eine Übereinstimmung vor, so wird die entsprechende Regel „gefeuert“ und damit eine Handlung initiiert. Auch hier besteht eine theoretisch sinnvolle Begrenzung: Zu jedem Zeitpunkt kann nur eine Produktion ausgeführt werden.

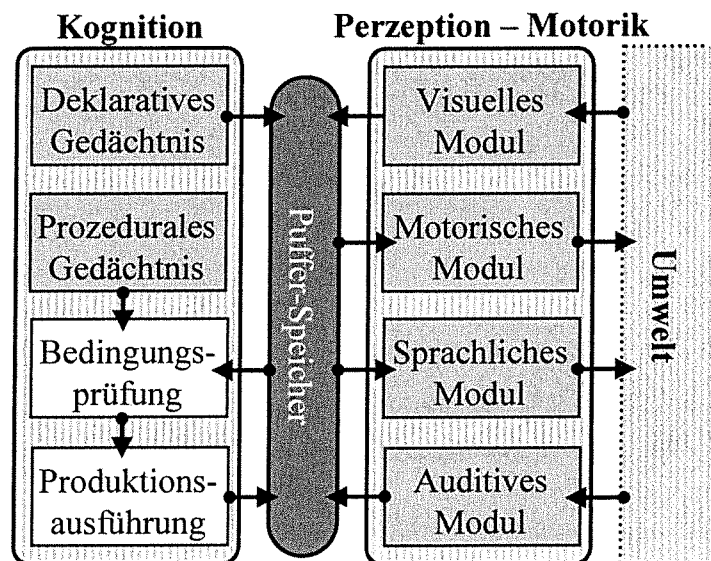


Bild 1: Adaptive Control of Thought – Rational

Festzuhalten ist, dass die Interaktion zwischen den Modulen über Produktionen koordiniert wird und so dem prozeduralen Gedächtnis der Architektur eine besondere Rolle zukommt. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass zu einem

bestimmten Zeitpunkt auch mehrere Produktionen zu den Speicherinhalten passen können. Aus dem Grund ist ACT-R als hybride Architektur konzipiert, die neben den beschriebenen symbolischen Strukturen auch *sub-symbolische* Mechanismen zur Konfliktlösung vorsieht. So entscheidet eine Kosten-Nutzen-Funktion, welche von eventuell gleichzeitig zutreffenden Produktionsregeln ausgeführt wird. Ebenso bestimmt der Kontext sowie die Nutzungshistorie, ob und wie schnell Wissen aus dem deklarativen Gedächtnis abrufbar ist. Außerdem ist ein wahrscheinlichkeitsbasierter Lernmechanismus implementiert.

3 ACT-R: Theoriekonforme Verhaltensmodellierung

Kognitive Modelle sind nur dann praxistauglich, wenn sie eine theoriekonforme und damit valide Benutzermodellierung erlauben. Da für viele ergonomische Fragestellungen – wie auch für das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit – visuelle Aufmerksamkeitstheorien (siehe 3.1) zentral sind, soll hieran beispielhaft illustriert werden, wie kognitionspsychologische Theorien in einer Architektur wie ACT-R (siehe 3.2) Berücksichtigung finden können.

3.1 Visuelle Aufmerksamkeit

Werden visuelle Szenen dargeboten, so ist als Ergebnis der retinalen Reizverarbeitung jedes Objekt (z.B. Wegweiser, Straße) sofort durch ein oder mehrere physikalische Merkmale (z.B. Farbe, Form) im *ikonischen Speicher* repräsentiert. Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die Speicherinhalte dort nur kurzfristig präsent sind und nach einer Halbwertszeit von ungefähr 200 ms verblassen, wenn sie nicht beachtet werden (Sperling, 1960). Der Prozess, einige Stimuli auszuwählen und andere zu ignorieren, wird als Aufmerksamkeit bezeichnet. Man kann sich die Selektion wie einen „Scheinwerfer“ vorstellen, den wir umherwandern lassen und auf verschiedene Stellen im visuellen Feld richten können (Spotlight-Metaphor; Posner, 1980).

Insbesondere die Frage, warum uns manche Stimuli „ins Auge springen“, während andere Aufmerksamkeit erfordern, wurde vielfach untersucht. Eine Erklärung bietet die *Merkmalsintegrationstheorie* (Treisman & Gelade, 1980): Demnach durchsuchen Menschen eine visuelle Szene unbewusst und simultan nach prägnanten Merkmalsprimitiven. Auch wenn wir die Objekte selbst noch nicht erkennen, können wir so sehr schnell entscheiden, ob ein bestimmtes Merkmal (z.B. rechteckige Form) vorhanden ist oder nicht. Der Prozess bedarf keiner Aufmerksamkeit und wird als *parallele visuelle Suche* bezeichnet. Besteht die Aufgabe hingegen darin, ausschließlich rechteckige Wegweiser zu finden, so wird eine Kombination mehrerer Merkmale (z.B. weißer Pfeil, blaues Rechteck) gefordert. Da der Scheinwerfer bei der komplexeren Konjunktionssuche nacheinander auf die Objekte des visuellen Feldes gerichtet werden muss, spricht man auch von einer *seriellen visuellen Suche*.

In einer Reihe von Arbeiten wurde untersucht, wie der Scheinwerfer gesteuert und die nächste Suchposition gefunden wird. Aufschlussreich ist in dem

Zusammenhang die *Theorie der gerichteten Suche* (siehe Bild 2, Wolfe, 1994, 2007): Demnach ermitteln Menschen zunächst auf der Basis neuronaler Aktivität für jede Merkmalsdimension (z.B. Farbe, Form) einen Aktivationswert. Die Grundlage dafür bildet ein stimulusgesteuerter Bottom-Up Prozess, wobei die Aktivierung umso höher ist, je stärker sich eine Merkmalsausprägung von den übrigen Reizen unterscheidet. Da die blaue Farbe von Autobahnwegweisern ein Alleinstellungsmerkmal in Straßenszenen darstellt, dürfte ihr eine hohe Aktivierung zukommen. Darüber hinaus werden aber auch apriorische Kontextinformationen als Top-Down gesteuerte Suchkriterien berücksichtigt und schließlich die einzelnen Merkmalsdimensionen zu einer „Salienzkarte“ des visuellen Feldes zusammengefasst. Der Stimulus mit der höchsten Aktivierung zieht den Scheinwerfer auf sich, wobei der Aktivationsgipfel keine Information über die Quelle enthält. Befindet sich der gesuchte Reiz nicht am Aktivationsgipfel, so wandert der Scheinwerfer zur nächst höchsten Aktivierung. Die Suche endet, wenn das gewünschte Objekt gefunden oder alle Reize mit einem bestimmten Aufmerksamkeitswert verarbeitet wurden.

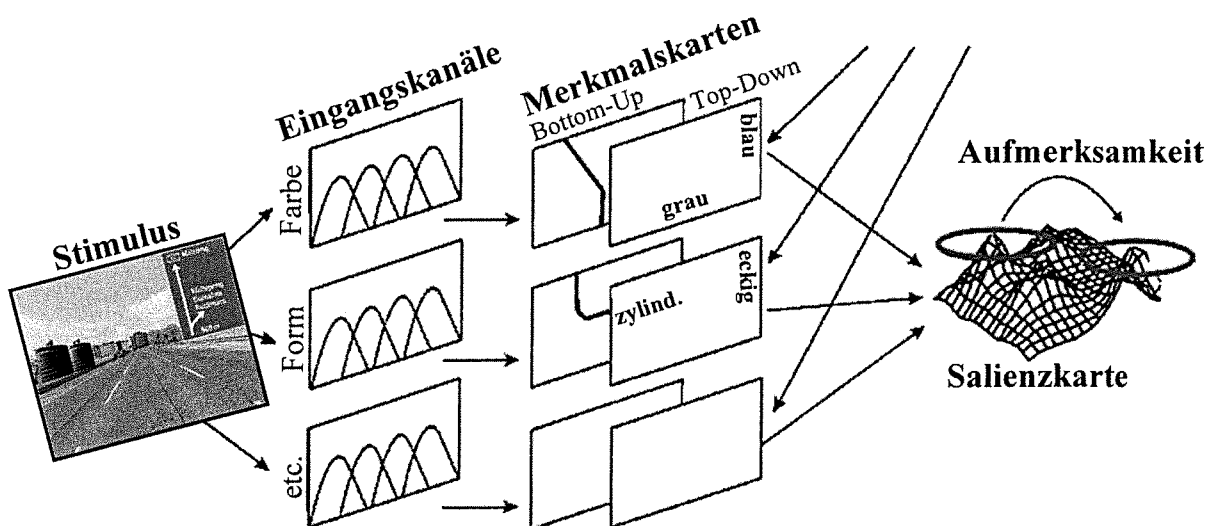


Bild 2: Theorie der gerichteten Suche (nach Donner, 2003)

Da wir im Alltag meist nicht mit statischen, sondern dynamischen Szenen konfrontiert sind, ist auch die Arbeit von Pylyshyn (2001) zu erwähnen: In einer Reihe von Experimenten konnte er zeigen, dass das visuelle System über einen frühen, prä-attentiven Mechanismus verfügt, der eine geringe Anzahl von Objekten kurzzeitig mit Aufmerksamkeitsmarkern belegen kann. Mit Hilfe dieser FINSTs (INS Tantiation FINGers) ist es uns dann möglich, jeweils vier bis fünf Objekte zu verfolgen – selbst, wenn diese ihre Position ändern. Auch Tipper et al. (1991) beobachteten eine gewisse Latenzzeit, bis die Aufmerksamkeit wieder an einen bereits aufgemerkten Ort beziehungsweise zu einem schon beachteten Objekt zurückkehrt (*IoR*, *Inhibition-of-Return*).

Da viele Detailfragen zum Teil heute noch sehr konträr diskutiert werden, soll das im Rahmen der Arbeit nicht vertieft, sondern anstelle dessen auf einen Überblicksartikel von Müller und Krummenacher (2006) verwiesen werden. Für die Implementierung in ACT-R sind weniger die Mikrostrukturen als die grundlegenden Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit von Bedeutung.

3.2 Visuelles Modul – visuelle Aufmerksamkeit in ACT-R

Das visuelle Modul von ACT-R erlaubt kognitiven Modellen, die Welt zu „sehen“. Es besteht aus zwei Subsystemen, die auch als *Wo-* und *Was-System* bezeichnet werden (Anderson et al., 1997; Anderson et al., 2005):

- a) *Wo-System*: Wird eine visuelle Szene dargeboten, so ist sie in Form einer Merkmalsmenge unmittelbar im *Visicon* repräsentiert (vgl. 3.1 ikonischer Speicher). Die *Visicon*-Einträge können über das *Wo-System* gefunden werden, wobei die Merkmalsuche durch eine entsprechende Produktion initiiert wird: Stimmt die Suchanfrage mit einem Eintrag überein, so wird ein Chunk in den visuellen Ortsspeicher (*Visual-Location Buffer*) geschrieben, der den Merkmalsort repräsentiert. Durch das *Wo-System* kann ein kognitives Modell dann – genauso wie ein Mensch – bestimmte Objektmerkmale sehr schnell lokalisieren und zwar, ohne das Objekt überhaupt erkannt zu haben (vgl. 3.1 Merkmals-Integrations-Theorie; parallele visuelle Suche).
- b) *Was-System*: Um ein Objekt erkennen zu können, sind Produktionsanfragen an den visuellen Speicher (*Visual Buffer*) erforderlich: Es gilt zunächst den Ort eines Objektes zu finden, die Aufmerksamkeit dorthin zu richten und schließlich das Objekt zu kodieren. Als Ergebnis resultiert ein Chunk, der eine episodische Repräsentation des Objektes darstellt und einer höheren kognitiven Verarbeitung zugänglich ist.

Die Aufmerksamkeit wird zunächst auf den Ort gerichtet, der durch das *Wo-System* spezifiziert wurde. Sind weitere Aufmerksamkeitswechsel erforderlich, so kann gezielt nach bestimmten Orten, Merkmalen oder Kombinationen gesucht werden (z.B. blau, rechteckig, rechts, oben). Um menschlichen Ressourcenbeschränkungen gerecht zu werden, kann das *Was-System* immer nur eine Anfrage pro Zeitpunkt bearbeiten (vgl. 3.1 serielle visuelle Suche).

In Übereinstimmung mit der Literatur wird auch in der ACT-R Theorie zwischen stimulus- und konzeptgesteuerter Aufmerksamkeitsallozierung unterschieden. Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass keine Aktivitätslandkarten berechnet werden und die beschriebenen Aufmerksamkeitswechsel de facto Top-Down gesteuert erfolgen. Reifers et al. (2005) schlagen deshalb vor, die visuelle Salienz von Stimuli zu berücksichtigen und so die gegenwärtige Architektur um einen Bottom-Up Mechanismus zu ergänzen (vgl. 3.1 Theorie der gerichteten Suche).

Darüber hinaus unterstützt das Modul auch rudimentäres visuelles Tracking sowie den Gebrauch von FINSTs: Wird ein Eintrag im *Visicon* beachtet, so kann diese Abrufanfrage markiert und mit einem Zeitstempel versehen werden. Aufbauend

auf die Arbeiten von Pylyshyn (2001) können in der Standardeinstellung vier Objekte für jeweils drei Sekunden mit Aufmerksamkeitsmarkern belegt werden. Der Mechanismus bietet ACT-R eine einfache Möglichkeit, die Verarbeitung auf noch nicht beachtete Stimuli zu beschränken und so wiederholte „Besuche“ zu vermeiden (vgl. 3.1 Inhibition-of-Return).

Festzuhalten ist, dass die Erforschung kognitiver Verarbeitungsprozesse oftmals ein gutes Verständnis visueller Aufmerksamkeitsmechanismen voraussetzt. Problematisch ist allerdings, dass sich die visuelle Aufmerksamkeit einer direkten Beobachtung entzieht. Aus dem Grund kommt der Analyse von Augenbewegungen – als „Fenster“ zu höheren kognitiven Prozessen – eine wichtige Rolle zu. Da mit ACT-R in erster Linie höhere kognitive Prozesse modelliert werden, sind standardmäßig nur Aufmerksamkeitswechsel und keine Augenbewegungen implementiert. Allerdings besteht die Möglichkeit, EMMA (Eye Movements and Movement of Attention; Salvucci, 2001) in das visuelle Modul zu integrieren.

4 ACT-CV: Erweiterung von ACT-R um maschinelle Bildverarbeitung

Ein kognitives Modell sollte in der Lage sein, exakt in derselben Umgebung zu laufen, mit der auch Menschen interagieren (Anderson & Lebiere, 1998, Seite 14f). Für die Interaktion mit grafischen Benutzeroberflächen (GUI) werden dabei bis jetzt zwei Wege verfolgt:

- St. Amant & Ritter (2003) haben mit SegMan ein Modul für ACT-R erstellt, das in der Lage ist, den Computerbildschirm unter MS Windows auszulesen und ACT-R bereitzustellen. Das Werkzeug funktioniert allerdings nur unter Windows, nur mit Allegro Common Lisp und lediglich mit dem veralteten ACT-R 5. In SegMan erfolgt die Identifizierung von Bildschirminhalten über relativ komplexe Definitionen im Lisp-Code: Gleichfarbige zusammenhängende Flächen werden zu „Pixel Groups“ zusammengefasst.
- Urbas et. al. (2006) erweitern ACT-R mit der Hilfe von AGImap um externe Benutzeroberflächen, die über TCP/IP mit ACT-R kommunizieren. Jedem externen Element entspricht dabei ein Element im GUI von ACT-R 6. Im Gegensatz zu SegMan ist AGImap nicht an eine Plattform gebunden, dafür ist aber die Auswahl an Bildelementen sehr begrenzt, z.B. erlaubt AGImap nur ein Fenster und darin nur Text und Buttons. Eine starke Einschränkung ist außerdem, dass AGImap nicht mit schon bestehenden Oberflächen funktioniert. Das GUI muss speziell für die Benutzung mit ACT-R erzeugt werden.

Das am Institut für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München entwickelte Simulationswerkzeug ACT-CV macht grafische Benutzeroberflächen mit der Hilfe der Computer-Vision-Bibliothek OpenCV (Intel, 2006) zugänglich. Damit verbindet es die Vorteile der beiden im vorangegangenen Absatz besprochenen Ansätze:

- Der Bildschirminhalt wird mit der Hilfe der Standard-Java-Klasse `java.awt.Robot` ausgelesen (Sun Microsystems Inc., 2006). Dadurch ist ACT-CV nicht an eine Plattform gebunden, und es müssen keine speziellen grafischen Oberflächen für die Benutzermodelle erzeugt werden. ACT-CV agiert transparent gegenüber den weiteren eingesetzten Softwaresystemen.
- Die Verarbeitung der Bildsequenzen erfolgt mit der Hilfe von OpenCV. Durch die große Zahl der in dieser Bibliothek enthaltenen Algorithmen können mit ACT-CV verschiedenste Sensoren benutzt werden, z.B. Konturerkennung, Gesichtserkennung, Liniendetektion. Die Identifizierung von Bildschirmhalten ist relativ einfach: es genügt, eine entsprechende Bilddatei zu hinterlegen.
- Mit der Hilfe von OpenCV können neben den Inhalten von Computerbildschirmen auch Bilder von Videokameras online ACT-R zugeführt werden.
- Durch die nebenläufige bzw. verteilte Ausführung von Bildverarbeitung (ACT-CV) und kognitiver Architektur (ACT-R) wird hohe Performanz erzielt.

Eine schematische Abbildung von ACT-CV ist in Bild 3 dargestellt.

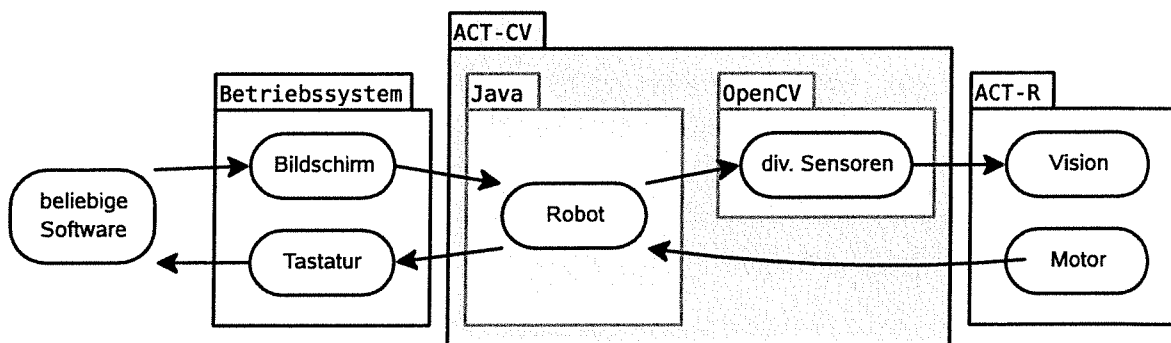


Bild 3: Informationsfluss in ACT-CV

5 Anwendungsbeispiel: Visuelle Suche im Straßenverkehr

Inwieweit können kognitive ACT-R Modelle zusammen mit dem Simulationswerkzeug ACT-CV für die prospektive Gestaltung von Artefakten genutzt werden? Um diese Frage zu beantworten, wurde eine Versuchsreihe des Instituts für Arbeitswissenschaft (Färber & Färber, in Druck) fortgesetzt, die es sich zum Ziel gesetzt hatte, die Aufnahme von Wegweiseinformation im Straßenverkehr zu untersuchen. In einer Reihe von Laborexperimenten wurden hierzu verschieden gestaltete Verkehrsschilder vorgelegt und Probanden instruiert, so schnell und sicher wie möglich zu entscheiden, ob ein bestimmter Zielort darauf vorhanden war oder nicht.

Vor dem Hintergrund der Arbeit erwies sich diese Fragestellung aus mindestens zwei Gründen als sehr interessant: Bedenkt man, dass im Rahmen der

Experimentalreihe verbindliche Richtlinien erarbeitet werden sollten, kann die Aufgabenstellung als praxisrelevant, ausreichend komplex und damit herausfordernd bezeichnet werden. Darüber hinaus handelt es sich um eine prototypische visuelle Suchaufgabe, wie sie oft in ergonomischen Studien untersucht wird (z.B. Menü/Iconsuche in Softwaresystemen, Objektidentifikation in der Flugüberwachung, Routenwahl in einem Autonavigationssystem).

Im Folgenden soll zunächst die im Rahmen der Arbeit durchgeführte empirische Studie (siehe 5.1) und ihre wichtigsten Ergebnisse (siehe 5.2) präsentiert werden, daran schließt sich die Beschreibung des kognitiven Benutzermodells (siehe 5.3) an. Das Ausmaß, in dem ein kognitives Modell Such- und Erkennenszeiten menschlicher Fahrer präzisieren kann, ist ein Indikator dafür, inwieweit sich diese Herangehensweise für die prospektive Gestaltung von Artefakten, im vorliegenden Fall Hinweisschilder, eignet.

5.1 Empirische Studie

Die Untersuchung folgte dem Doppelaufgaben-Paradigma, wobei die Teilnehmer nicht nur Zielorte auf Autobahnschildern finden mussten, sondern mit einer simulierten Autobahnfahrt eine weitere fordernde Aufgabe zu bewältigen hatten.

Jede Versuchsperson bearbeitete während der Fahrt 108 Such-Aufgaben, die jeweils mit der Ansage „Sie wollen nach *Zielort*“ angekündigt wurden. Nach etwa zwei Sekunden wurde dann am rechten Bildschirmrand ein Autobahnwegweiser (siehe Bild 4) dargestellt und der Proband musste eine bestimmte Taste drücken, je nachdem ob der Zielort

- unter den Abfahrts-Zielen (Wolfspring bis Ruckmars in Bild 4),
- den Geradeaus-Zielen (Maisding in Bild 4), oder
- nicht auf dem Schild

vorhanden war.

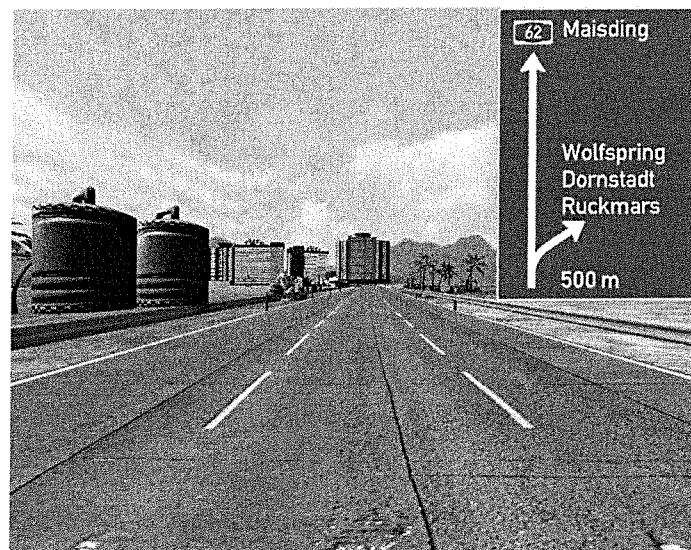


Bild 4: Fahrsimulation mit Autobahnschild

5.1.1 Versuchsstimuli

Es ist anzunehmen, dass die Dauer der visuellen Suche nicht nur durch die reine Lesezeit der Autobahnwegweiser, sondern auch durch die Beschaffenheit des Wortmaterials beeinflusst wird. So könnten zum Beispiel bekannte Orte, wie München oder Hamburg, wesentlich schneller erkannt werden als „Zungenbrecher“. Um den Einfluss solcher Effekte zu verringern, wurden lediglich fiktive Städtenamen eingesetzt. Jeder der 436 hypothetischen Ortsnamen bestand dabei aus zwei einsilbigen Worten, die im Deutschen häufig sind und deren Lesegeschwindigkeit vorab bekannt war (siehe Graf et al., 2005). Um zudem ausschließen zu können, dass eine Wortschöpfung bereits existierte, wurde ihre Trefferanzahl bei der Internet-Suchmaschine Google überprüft.

Nicht nur bei der Findung der Städtenamen, sondern auch bei deren Kombination auf dem Autobahnschild sollten Ähnlichkeitseffekte kontrolliert werden. Die Schilder wurden deshalb für jeden Probanden zufällig neu zusammengestellt. Die Orte wurden dabei so gewählt, dass innerhalb des aktuellen Schilds und der drei letzten vorangegangenen Schilder für alle Wortpaare

- die Edit-Distanz (Levenstein, 1965) mindestens sechs Einfügungen beziehungsweise Ersetzungen, und
- die nach der grafischen Ähnlichkeit (MDS-Lösung aus Boles & Clifford, 1989, S. 581) gewichtete Edit-Distanz mindestens 4,5 betrug.

Auf einem Schild durften darüber hinaus keine zwei Worte mit demselben Anfangsbuchstaben beginnen.

Entsprechend der Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen wurden Vorwegweiser für Anschlussstellen mit drei bis sieben Zielen generiert (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2000). Dabei konnten maximal drei Ziele im oberen Geradeaus-Teil und höchstens vier Ziele im unteren Rechts-Ab-Teil dargestellt werden.

5.1.2 Versuchsaufbau

Die bei der Untersuchung eingesetzte Fahrsimulation bestand aus einem aktuellen PC (Fujitsu-Siemens Esprimo) mit einem kraftrückmeldendem Lenkrad (Logitech Momo Racing) und einem handelsüblichen 19 Zoll Monitor (1280 x 1024 Pixel). Die verwendete Simulations-Software basiert auf dem frei verfügbaren Microsoft XNA Racing Game (Microsoft, 2006).

Die Schilder nahmen auf dem Bildschirm einen Bereich von 380 x 548 Pixeln ein. Bei einer Entfernung von 80 bis 100 cm zwischen Auge und Bildschirm betrug damit der vertikale Sichtwinkel für eine Zeile auf dem Schild etwa 0,8° bis 1,0°.

Neben der Lenktätigkeit der Probanden wurden auch deren Blickbewegungen erhoben. Hierfür wurde ein kopfbasiertes Eye-Tracking-System eingesetzt, das an der Ludwig-Maximilian Universität entwickelt wurde (siehe Bild 5). Neben dem

eigentlichen Eye-Tracker besteht dieses noch aus einem Kamerasystem zur Kopfbewegungsmessung und einem tragbaren Steuerungscomputer.

Der eigentliche Eye-Tracker besteht aus einer Schwimmbrille, an der seitlich kleine infrarot-sensitive Digitalkameras (Point Grey, Firefly MV, 120 FPS) angebracht sind, die Bilder der Augen über Infrarotspiegel aufnehmen. Zur Ausleuchtung der Augen sind Infrarot-LEDs in die Brille integriert. Für die Kopfbewegungsmessung sind drei weitere Infrarot-LEDs an der Vorderseite der Brille angebracht. Insgesamt bietet dieser Aufbau gleichzeitig freie Sicht und kontrastreiche Augenbilder (siehe Schneider et al. 2006 und Dera et al. 2006 für eine detailliertere Beschreibung). Für die Messung der Position des Kopfes wurde ein Stereo-Kamerasystem (2 mal Point Grey, Firefly MV, 120 FPS) über dem Computerbildschirm angebracht.

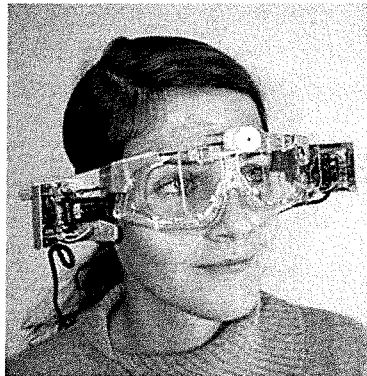


Bild 5: Eye-Tracking-System

5.2 Ergebnisse

An dem Experiment haben 19 Personen (7 Frauen und 12 Männer) teilgenommen, die zwischen 21 und 56 Jahre ($M=37$, $SD=13$) alt waren.

Die Zeit zwischen dem Darstellungsbeginn eines Schildes und der Reaktion der Probanden mit einem Tastendruck betrug im Mittel 1,9 s ($SD=0,67s$). Dabei waren die Antworten der Teilnehmer weitgehend richtig und nur in etwa 2 % der Fälle mussten Durchgänge als falsch gewertet werden.

Aufgrund der starken Linksteilheit der Reaktionszeiten wurde für statistische Auswertungen die logarithmierte Zeit herangezogen (Ulrich & Miller, 1993). Für inferenzstatistische Hypothesenprüfungen wurden gemischte Varianzanalysen mit der Versuchsperson als Zufallseffekt benutzt, die Analysen wurden mit SPSS 15 (SPSS, 2006) durchgeführt. Im Folgenden werden nur die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

5.2.1 Länge des Schilds

Sowohl die Schildlänge als auch der Zieltyp (rechts, gerade, nicht darauf) hatten einen deutlichen Einfluss auf die Reaktionszeit (Länge: $F_{4;107,3}=52,5$; Typ: $F_{2;40,6}=84,7$; jeweils $p<,001$). Post-Hoc gerechnete paarweise Vergleiche mit Anpassung der Signifikanz nach Bonferroni ergaben deutliche Unterschiede

zwischen allen Abstufungen (jeweils $p < ,001$). Die empirischen Mittelwerte sind in Bild 6 dargestellt.

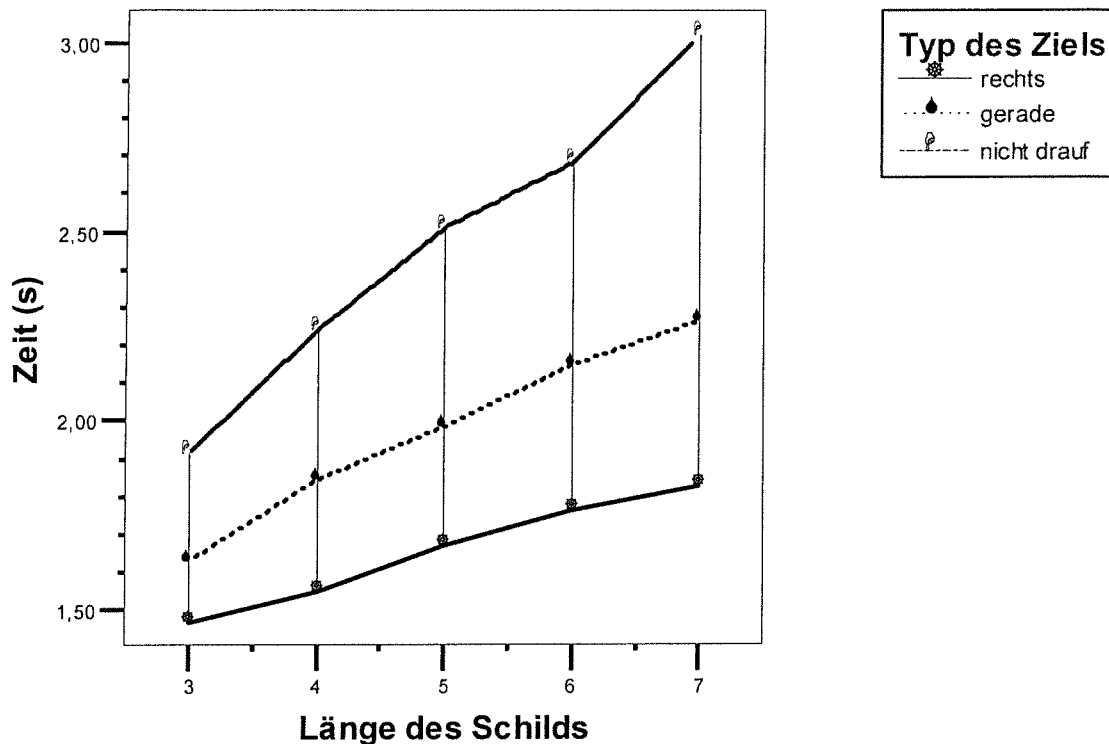


Bild 6: Mittlere Reaktionszeit in Abhängigkeit der Anzahl der Ziele, die auf dem Schild dargestellt waren

5.2.2 Position des Ziels auf dem Schild

Die Schilder unterschiedlicher Länge sind nicht direkt vergleichbar, daher wird diese Auswertung exemplarisch für Schilder mit den Längen 3, 5 und 7 durchgeführt. Beispiele für solche Schilder sind in Bild 7 dargestellt.

Die Position hatte einen deutlichen Einfluss auf die Reaktionszeit der Probanden (Länge 3: $F_{2,36} = 7,3$; $p = ,002$; Länge 5: $F_{4,72} = 6,6$; $p < ,001$; Länge 7: $F_{6,108} = 7,6$; $p < ,001$; Gruppenmittelwerte sind in Bild 10 in Abschnitt 5.3.1 dargestellt). Allerdings unterscheiden sich nicht alle Abstufungen voneinander. Signifikante Unterschiede wurden nur zwischen Positionen erhalten, die nicht zu demselben Typ (rechts, gerade, nicht darauf) gehörten.

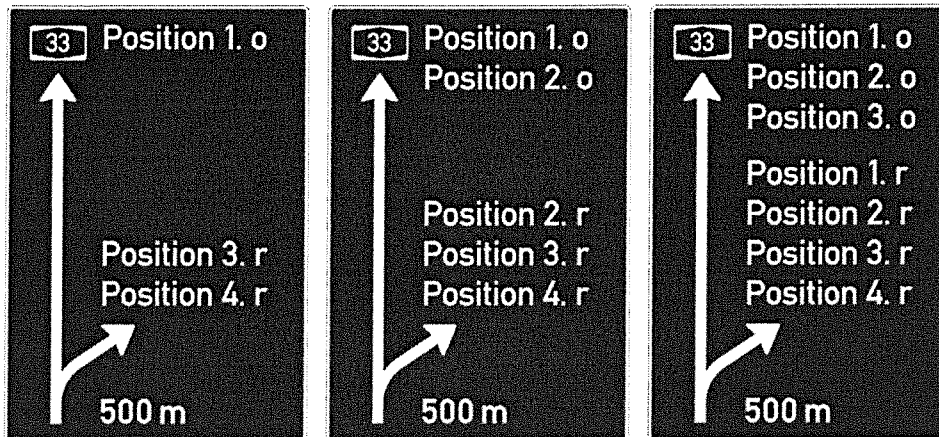


Bild 7: Schilder mit unterschiedlich vielen Zielen (o=oben, r=rechts)

5.2.3 Blickpfade

Die Identifikation der Fixationen auf dem Schild wurde mit der Hilfe eines Hidden-Markov-Modells (HMM) berechnet, das für die Ziele auf dem Schild und für die Fahrbahn je einen Zustand enthielt (Salvucci & Anderson, 2001).

Im Mittel benötigten die Versuchspersonen 2,7 Fixationen (SD = 1,6), um ein Schild zu bearbeiten. In 24 % der Fälle waren Fixationen auf der Fahrbahn in die Suche nach dem Zielort auf dem Schild eingestreut.

Typische Blickpfade, unabhängig vom Darstellungsort des Zielreizes, lassen sich am besten erheben, wenn der gesuchte Ort nicht auf dem Schild enthalten ist. Für diesen Fall ergab sich bei dem Schild der Länge fünf eine Häufung des Pfads 4.r – 2.o – 4.r und des Pfads 4.r – 1.o – 4.r (siehe Bild 8). Diese Pfade machten zusammen ungefähr 20% aller Blickpfade in dieser Versuchsbedingung aus.

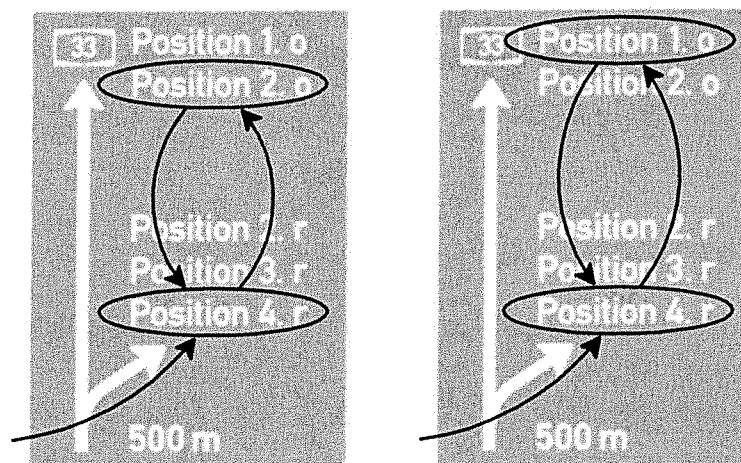


Bild 8: Typische Blickpfade für ein Schild mit fünf Zielen, wenn der gesuchte Ort nicht auf dem Schild vorhanden war

5.3 Kognitives Benutzermodell

Das Suchverhalten der Probanden wurde mit der Hilfe von ACT-R (Anderson et al., 2004) und dem in Abschnitt 4 beschriebenen ACT-CV modelliert. Um die Entwicklung zu vereinfachen, wurde ACT-CV auf dem Simulations-Rechner eingesetzt, während das kognitive Modell auf einem zweiten Computer erstellt wurde und über eine Netzwerkverbindung mit der Bilderkennung kommunizierte.

Das Modell beruht auf Arbeiten von Byrne (2001) zur Anwendung von ACT-R auf die Menüauswahl. Für die Suche werden zwei Strategien postuliert, zwischen denen beliebig gewechselt werden kann:

- Zum einen gehen die Personen systematisch vor und überprüfen ein Ziel nach dem anderen
- Zum anderen werden wahllos Ziele auf dem Schild angesprungen.

Die Übersetzung in Produktionsregeln in ACT-R ist in Bild 9 dargestellt. Die Suche besteht aus den drei elementaren Operationen

1. Finden eines Objekts (find-first/next-[random]-object)
2. Verlagern der Aufmerksamkeit zum Objekt, d.h. Lesen des Worts (attend-object)
3. Vergleich mit dem Zielreiz und Entscheidung (target-[not]-found)

Der Fall, dass der Zielort nicht auf dem Schild dargestellt ist, soll aus Gründen der Übersichtlichkeit an dieser Stelle nicht näher behandelt werden. Abgeleitet aus den empirischen Daten beginnt das Modell die Suche im unteren Block (Rechts-Ab-Ziele).

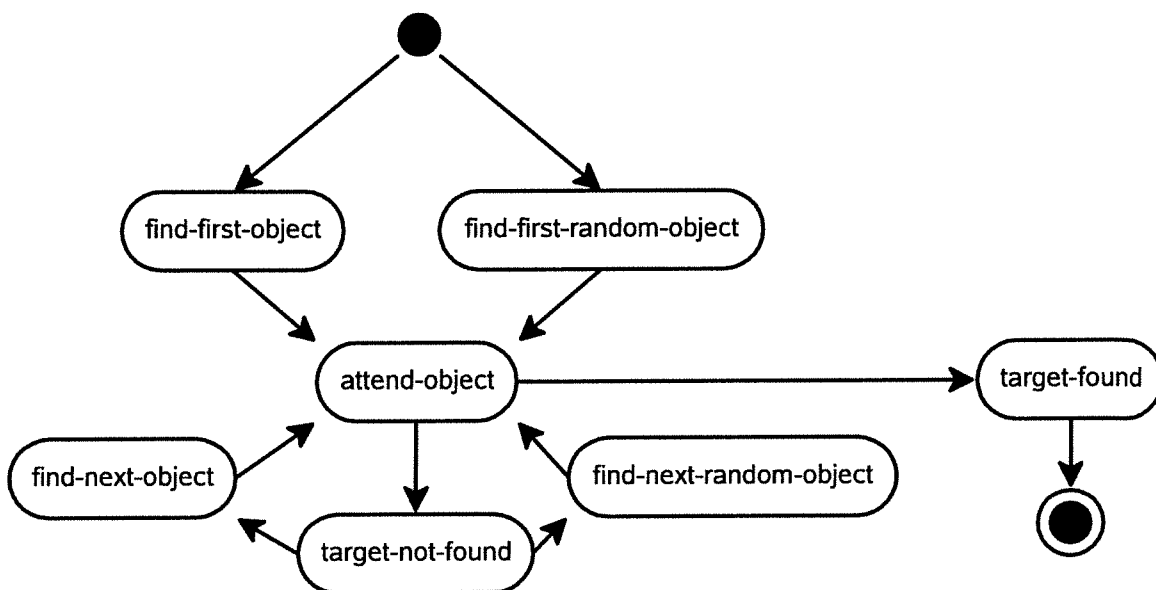


Bild 9: Vereinfachtes Flussdiagramm des ACT-R-Modells

5.3.1 Vergleich zwischen Modell und empirischen Daten

Die Ergebnisse für drei beispielhafte Schild-Typen aus dem Experiment sind in Bild 10 dargestellt. Die qualitative Ähnlichkeit der Kurven ist sehr groß; anzumerken ist lediglich, dass die Wertebereiche nicht gleich sind. Das Modell erzeugt insgesamt kürzere Reaktionszeiten, ist aber in den Durchgängen, in denen der Zielort nicht auf dem Schild vorhanden ist, langsamer.

Die Sichtung der Laufprotokolle ergab, dass das Modell deutlich mehr Fixationen benötigt, um das Schild abzusuchen. Während menschliche Probanden im Mittel 2,7 Fixationen auf dem Schild ausführten, sind es beim Modell 4,1 (SD=3,0).

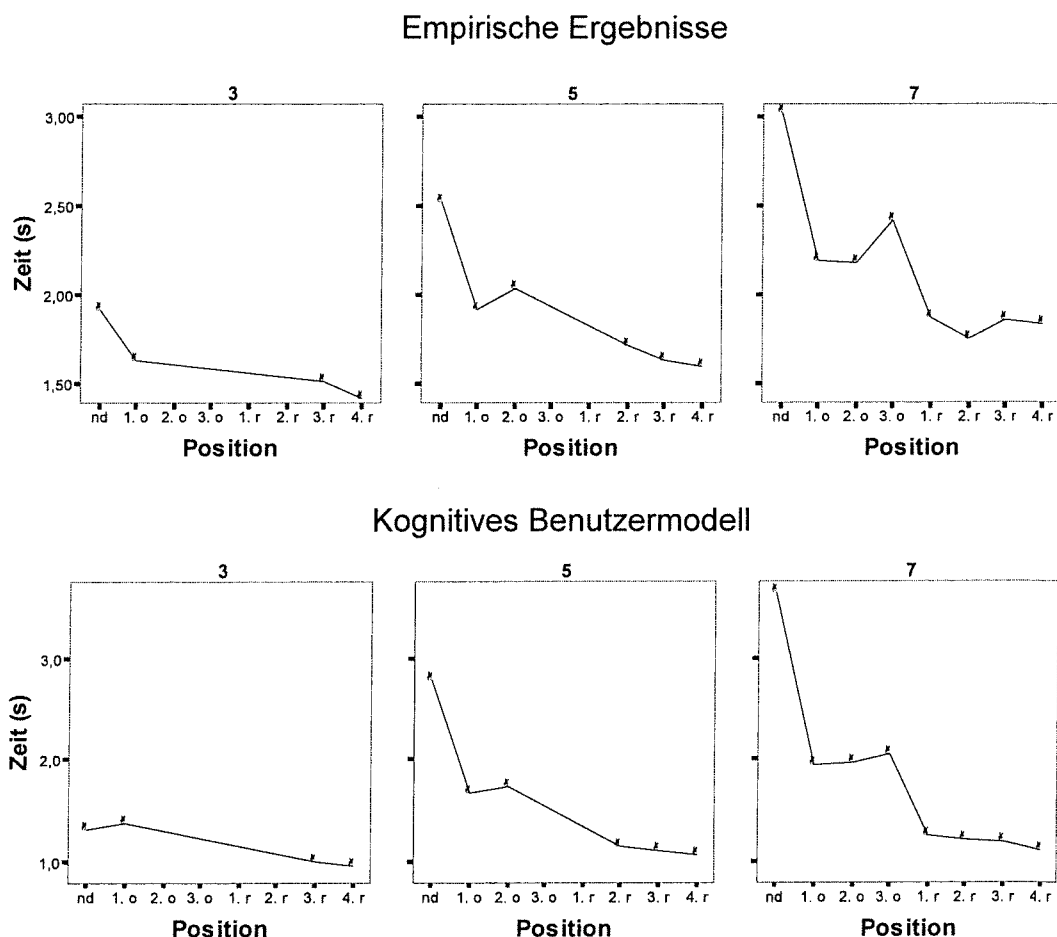


Bild 10: Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den Probanden und dem kognitiven Benutzermodell. nd=nicht darauf, Ziffern über den Diagrammen geben die jeweilige Länge des Schildes an.

5.4 Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Ergebnisse fügen sich gut in den aktuellen Stand der Literatur ein. Die Bearbeitungszeit stieg weitgehend linear mit der Anzahl der Ziele auf dem Schild. Dies stimmt grundsätzlich mit den Ergebnissen aus der Literatur überein, wie sie beispielsweise bei Treisman (1988) beschrieben werden, allerdings unterscheiden sich die Koeffizienten. Während Treisman Steigungen der Regressionsgerade von 20 bis 30 ms pro Ziel für

Durchgänge, in denen der Zielreiz in der dargebotenen Liste enthalten ist, angibt, wurden in dieser Studie

- ca. 95 ms pro Ziel für den unteren Bereich des Schildes und
- ca. 150 ms pro Ziel für den oberen, Geradeaus-Bereich

erhalten (siehe Bild 6 in Abschnitt 5.2.1). Das kognitive Modell liegt mit 45 ms im unteren Bereich und 100 ms im oberen Bereich näher an den Werten von Treisman.

Die in dieser Untersuchung beobachtete Verlangsamung ist möglicherweise durch die neben der visuellen Suche ausgeführte Fahraufgabe hervorgerufen, hier besteht dementsprechend weiterer Forschungsbedarf. Auch inwieweit der erhaltene Zeitvorteil des unteren (Rechts-ab-) Blocks für Vorwegweiser auf Autobahnen *allgemein* gilt, oder nur der speziellen Darstellungsart in dieser Untersuchung geschuldet ist, bedarf weiterer Überprüfung.

Wie bereits Färber & Färber (in Druck) berichteten, werden Schilder in Blöcken (geradeaus versus rechts-ab) wahrgenommen. Auch in der vorliegenden Untersuchung konnten signifikanten Unterschiede zwischen den Blöcken, aber nicht innerhalb der Blöcke gefunden werden. Der nicht signifikante Trend, dass der zuunterst dargestellte Stadtname am schnellsten wahrgenommen wurde, erhält durch die Blickbewegungsanalyse weitere Plausibilität.

Der besondere Fall, wenn das Ziel nicht auf dem Schild vorhanden war, führte literaturkonform zu erhöhten Suchzeiten. Die Modellierung ist für diesen Fall noch nicht zufriedenstellend. Zwar existieren theoretische Ansätze für solche Situationen schon länger (Chun & Wolfe, 1996), sie lassen sich aber im Rahmen der ACT-R-Theorie nicht direkt umsetzen.

6 Fazit

Ziel dieser Arbeit ist, den möglichen Beitrag kognitiver Modellierung für die prospektive Gestaltung von Artefakten herauszustellen. Hierfür wurde mit ACT-R eine kognitive Architektur erläutert und mit ACT-CV ein Werkzeug für die Modellierung mit ACT-R dargestellt. Möglichkeiten und Grenzen dieser zwei Systeme im praktischen Einsatz wurden anhand einer Untersuchung zur Wahrnehmung von Autobahnschildern aufgezeigt.

Mit besonderem Augenmerk auf die prospektive Gestaltung lassen sich die folgenden Ergebnisse festhalten:

- ACT-CV: Auf der Ebene der Fahrsimulation lässt sich – zumindest was die Bearbeitung der Schilder angeht – nicht unterscheiden, ob ein Mensch oder ACT-R die Simulation bedient. Im Programm-Code der Simulation mussten keine Änderungen vorgenommen werden.

- ACT-R: Mit der Hilfe der Perceptual-Motor-Module konnte mit wenig Aufwand ein sinnvolles Benutzermodell erstellt werden, das weitgehend mit dem Verhalten eines menschlichen Benutzers übereinstimmt. Allerdings ergaben sich allgemeine Unterschiede (kürzere Suchzeiten des Modells), die möglicherweise durch die Nebenaufgabe bedingt sind und weiterer Forschung bedürfen.
- Generalisierbarkeit: Die Generalisierung vorhandener Modelle auf neue Anwendungen (hier: von Menüs in grafischen Benutzeroberflächen auf Hinweisschilder) gelang nur bedingt. Da die visuelle Suche einschließlich ihrer Simulation in kognitiven Architekturen im Augenblick stark beforscht wird (Hornof, 2007), ist in Zukunft mit (noch) besseren Vorhersagen zu rechnen.
- Entwicklungsaufwand: Für das erste Modell wurden ungefähr zwei Tage Entwicklungszeit benötigt. Grundsätzlich ist also die schnelle Erzeugung einsatzfähiger kognitiver Benutzermodelle möglich.
- Wiederverwendbarkeit von Modellen: Die zukünftige Erweiterung des Modells um die Fahraufgabe, die neben der Suche auf den Schildern ausgeführt wurde, lässt noch bessere Passung auf die Daten und genauere Vorhersagen erwarten. Durch die Verfügbarkeit von ACT-R-Modellen des Autofahrens (Salvucci, 2006) sollte eine solche Erweiterung leicht möglich sein.

Der deutlich geringere Aufwand für die Modellierung (mehrere Tage) verglichen mit der empirischen Untersuchung (Planung und Durchführung: mehrere Wochen) macht die Modellierung zu einem interessanten Werkzeug für die prospektive Gestaltung. In der Vergangenheit konnten mit ihrer Hilfe bereits Fehlentscheidungen vermieden werden, die Kosten in siebenstelliger Höhe verursacht hätten (Gray et al., 1993). Die kognitive Modellierung wird aber auch in Zukunft nicht in der Lage sein, empirische Untersuchungen vollständig zu ersetzen. Vielmehr stehen Experimentalpsychologie und kognitive Modellierung in einer positiven Wechselbeziehung, in der jeder Bereich von den Erkenntnissen des anderen profitiert.

Die Hemmnisse bei der Benutzung der kognitiven Modellierung liegen im Aufwand, der zum einen für die Modellierung selbst, zum anderen für die Bereitstellung von Schnittstellen zwischen Modell und Umgebung betrieben werden muss. Mit der Hilfe von ACT-CV wird zumindest der Aufwand bezüglich der Schnittstellen deutlich verringert.

7 Danksagung

Die Autoren möchten Herrn Hannes Schulz erwähnen, der freundlicherweise das Skript zur Prüfung der Google-Treffer zur Verfügung gestellt hat. Darüber hinaus möchten sie sich herzlich bei Herrn Benedikt Hopfner für die Durchführung des Versuchs bedanken.

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Exzellenzclusters „CoTeSys – Cognition for Technical Systems“ ermöglicht.

Literatur

- Anderson, J. R., Matessa, M. & Lebiere, C. (1997), ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention, *Human Computer Interaction*, 12 (4), 439-462.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C. & Qin, Y. (2004), An Integrated Theory of the Mind, *Psychological Review*, 111 (4), 1036-1060.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998), *The Atomic Components of Thought*, Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Anderson, J. R. (2005), *Cognitive Psychology and Its Implications*. New York, NY: Worth Publishers.
- Boles, D. B. & Clifford, J. E. (1989). An upper- and lowercase alphabetic similarity matrix, with derived generation similarity rules. *Behavior Research Methods, Instrument, & Computers*, 21 (6), 579-586.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.) (2000). *RWBA 2000, Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen*. Köln: FGSV-Verlag.
- Byrne, M. D. (2001), ACT-R/PM and menu selection: applying a cognitive architecture to HCI, *Int. Journal of Human-Computer-Studies*, 55 (1), 41-84.
- Chun, M. M. & Wolfe, J. M. (1996), Just say no: How are visual searches terminated when there is no target present?, *Cognitive Psychology*, 30 (1), 39-78.
- Dera, T., Boening, G., Bardins, S., Schneider, E., & Brandt, T. (2006). Low-latency video tracking of horizontal, vertical, and torsional eye movements as a basis for 3dof realtime motion control of a head-mounted camera. In *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2006)*, Taipei, Taiwan
- Donner, T. H. (2003), *Kontrolle zielgerichteter visueller Suche im menschlichen Gehirn*. Dissertation. Berlin: Humboldt Universität.
- Färber, B. A. & Färber, B. (in Druck), *Aufnahme von Wegweisungsinformation im Straßenverkehr – AWewiS*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Fahrzeugtechnik. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag.
- Fleetwood, M. D. & Byrne, M. D. (2003), Modeling the visual search of displays: A revised ACT-R/PM model of icon search based on eye-tracking and experimental data. *5th Int. Conference on Cognitive Modeling*, available at: <http://act-r.psy.cmu.edu/publications/pubinfo.php?id=436> [31.08.07].
- Gluck, K. A. & Pew, R. W. (2005), *Modeling Human Behavior with Integrated Cognitive Architectures*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Graf, R., Nagler, M., & Jacobs, A. M. (2005). Faktorenanalyse von 57 Variablen der visuellen Worterkennung. *Zeitschrift für Psychologie*, 213 (4), 205-218.
- Gray, W. D., John, B. E., & Atwood, M. E. (1993). Project Ernestine: Validation a GOMS Analysis for Predicting and Explaining Real-World Task Performance. *Human-Computer Interaction*, 8, 237-309.
- Hornof, A. (2007), Toward an Integrated, Comprehensive Theory of Visual Search, In W. D. Gray (ed.), *Integrated Models of Cognitive Systems* (pp. 314-324), Oxford: University Press.
- Intel (2006) *OpenCV 1.0 – Open Source Computer Vision Library*, verfügbar unter: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/> [31.08.07].

- Levenstein, V. I. (1965). Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 163 (4), 845-848. Englische Übersetzung in: *Soviet Physics Doklady*, 10(8) S. 707-710, 1966.
- Microsoft (2006). *XNA Racing Game*. [Online]. Verfügbar unter: <http://creators.xna.com/Education/StarterKits.aspx>. Abgerufen am 01.08.2007.
- Müller, H. J. & Krummenacher, J. (2006), Visual search and selective attention, *Visual Cognition*, 14 (4-8), 389-410.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of Attention, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32 (1), 3-25.
- Pylyshyn, Z. W. (2001), Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision, *Cognition*, 80 (1), 127-158.
- Reifers, A. L., Schenck, I. N., & Ritter, F. E. (2005), Modeling pre-attentive visual search in ACT-R, *27th Ann. Conf. of the Cognitive Science Society*, available at: <http://act-r.psy.cmu.edu/publications/pubinfo.php?id=605> [31.08.07].
- Salvucci, D. D. (2001), An Integrated Model of Eye Movements and Visual Encoding, *Cognitive Systems Research*, 1 (4), 201-220.
- Salvucci, D. D. (2006). Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors*, 48 (2), 362-380.
- Salvucci, D. D. & Anderson, J. R. (2001). Automated Eye-Movement Protocol Analysis. *Human-Computer Interaction*, 16 (1), 39-86.
- Schneider, E., Bartl, K., Dera, T., Boening, G., & Brandt, T. (2006). Gaze-aligned head-mounted camera with pan, tilt and roll motion control for medical documentation and teaching applications. In *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2006)*, Taipei, Taiwan
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations, *Psychological Monographs*, 74 (11), 1-29.
- SPSS (2006). *SPSS für Windows, Version 15*. Chicago: SPSS Inc.
- St. Amant, R. & Ritter, F. E. (2003), *Interfacing ACT-R to External Simulations Using Segman*. Comments as part of Symposium on External Interaction at the ACT-R Workshop
- Sun Microsystems Inc. (2006) *Java SE 6*, verfügbar unter: <http://java.sun.com/> [31.08.07].
- Tipper, S., Driver, J. & Weaver, B. (1991), Object-centred inhibition of return of visual attention, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology – Section A: Human Experimental Psychology*, 43 (2), 289-298.
- Treisman, A. (1988), Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 40(2), 201-237
- Treisman, A. & Gelade, G. (1980), A feature-integration theory of attention, *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97-136.
- Ulrich, R. & Miller, J. (1993). Information Processing Models Generating Lognormally Distributed Reaction Times. *Journal of Mathematical Psychology*, 37, 513-525.
- Urbas, L., Heinath, M., Trösterer, S., Pape, N., Dzaack, J., Kiefer, J., & Leuchter, S. (2006), AGImap: A tool-chain to support the modeling of the interaction level of dynamic systems, *7th Int. Conf. on Cognitive Modeling*. Trieste, Italy, April 5-8, 409.
- Wolfe, J. M. (1994), Guided Search 2.0 – A revised model of visual search, *Psychonomic Bulletin and Review*, 1 (2), 202-238.

Wolfe, J. M. (2007), Guided Search 4.0 – Current progress with a model of visual search, In W. D. Gray (ed.), *Integrated Models of Cognitive Systems* (pp. 99-119), Oxford: University Press.

Autoren

Dipl.-Psych. Marc Halbrügge	Universität der Bundeswehr
Dr. Barbara Deml	Institut für Arbeitswissenschaft
Dr. Brigitte A. Färber	
Dipl.-Inf. Stanislavs Bardins	LMU München
	Neurologische Klinik und Poliklinik

Folgende Zeichen stehen hier nur, damit die Schriftart „SPSS Marker Set“ in die Word-Datei eingebettet wird: 