

MMI-Interaktiv
Werkstätten für MMI
August 2006

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

MMI-Interaktiv ist ein Online-Journal im Bereich Mensch-Maschine
Interaktion und Human Factors. Es wird getragen von
Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, TU Berlin
Institut für Ergonomie und Designforschung, Uni Duisburg-Essen
Zentrum Mensch-Maschine-Interaktion, TU Kaiserslautern
Institut für Arbeitspsychologie, ETH Zürich

Alle Beiträge sind durch einen Review-Prozess gegangen und
wurden von mindestens zwei Experten begutachtet.

MMI-Interaktiv Ausgabe August 2006

Herausgeber:

Sandro Leuchter (Fraunhofer IITB, Karlsruhe),
Leon Urbas (TU Dresden)

Board:

Ralph Bruder (TU Darmstadt)
Kerstin Röse (TU Kaiserslautern)
Matthias Rötting (TU Berlin)

Inhalt

Editorial: Werkstätten für Mensch-Maschine Interaktion <i>S. Leuchter & L. Urbas</i>	1
Arbeitskreis Blickbewegung: Chancen und Schwächen der Blickanalyse bei der Bewertung von Objekten <i>A. Oehme & T. Jürgensohn</i>	3
Mensch-Maschine-Schnittstelle für Vernetztes Fahren: Regeln zur Systemgestaltung <i>A. Naumann, L. Urbas, H. Wandke & H. Kolrep-Rometsch</i>	7
Simulation des Menschen als Entscheider in der netzbasierten Operationsführung <i>S. Leuchter & J. Geisler</i>	17
Kognitive Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen <i>J. Dzaack, M. Heinath & J. Kiefer</i>	28
Passive und Aktive Sicherheitsmaßnahmen im Kraftfahrzeug <i>N. Fricke, C. Glaser & M. De Filippis</i>	39
Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Systeme <i>A. Klostermann & J. Huss</i>	48

Werkstätten für Mensch-Maschine Interaktion

SANDRO LEUCHTER¹ & LEON URBAS²

¹⁾ *Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe*

²⁾ *Technische Universität Dresden*

MMI-Interaktiv hatte mal wieder eine lange Pause. Wir waren 1999 als Open-Access Journal ohne kommerzielle Interessen und auch Verpflichtungen angetreten, die grauen Reihen der beteiligten Institute durch ein übergreifendes deutschsprachiges Organ, das voll auf die einfachen Verbreitungswege des WWW setzt, abzulösen. Später ist MMI-Interaktiv in das useworld.net-Portal integriert worden. Was wir damals noch nicht erwartet hatten, spüren wir heute schmerzlich: Viel von der Freizeit, die wir gerne für die redaktionelle Qualität und Quantität des Journals aufbringen wollen, wird von Wartung und Betrieb unserer technischen Plattform useworld.net aufgefressen. Deshalb wird es in absehbarer Zeit zu einem Relaunch von MMI-Interaktiv als stand-alone Angebot auf einfacher zu betreibender Technik kommen.

Die Arbeitsteilung wurde seit der letzten Ausgabe durch die Bildung eines beratenden *Editorial Boards* neu strukturiert. Die exekutive Arbeit übernimmt ein wechselndes Herausgeberteam, das die Autoren organisatorisch unterstützt, in der Form der Darstellung berät sowie den Reviewprozess organisiert und moderiert. Die Funktion von MMI-Interaktiv ist aus unserer Sicht, den Autoren eine Bühne zu bieten, auf der die eigene Arbeit präsentiert werden kann. Die am besten geeignete Form müssen die Autoren nach ihren eigenen Ansprüchen und Zielsetzungen aber selber finden. MMI-Interaktiv war und bleibt deshalb ein „Werkstatt-Medium“, das zwischen grauer Literatur und internationalem wissenschaftlichen Journal changiert.

Nichtsdestotrotz ist MMI-Interaktiv eine attraktive Plattform, die einen beachtlichen „Impact Factor“ hat: Einzelne Ausgaben haben ca. 2500 Hits (also Zugriffe auf einzelne Artikel) pro Monat. Wie kommen Leser auf MMI-Interaktiv? Die Logfiles zeigen viele Zugriffe als Ergebnis von Suchmaschinenbenutzung; die Artikel scheinen also bei Suchmaschinen gut indiziert und gerankt zu werden. Nicht zu unterschätzen ist dafür auch, dass alle in MMI-Interaktiv erschienen Beiträge mit kompletten Metadaten im Directory of Open Access Journals (<http://www.doaj.org/>) gelistet werden.

MMI-Interaktiv richtet sich an eine Community, die geschafft hat, sich mit diversen regelmäßigen Events zu vernetzen. Es gibt eine ganze Reihe von solchen Kristallisationspunkten, an denen wir uns finden und zusammen diskutieren. Das Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin, dem wir Herausgeber persönlich eine

ganze Menge zu verdanken haben, übernimmt regelmäßig die Organisation und Moderation von Veranstaltungen. Das Leitbild für diese Veranstaltungen ist, als Werkstätten zu funktionieren: Neben der Präsentation von Resultaten werden methodische Ansätze für beginnende Arbeiten zur Diskussion gestellt und MMI-Themen in teilweise hoch-interaktiven Arbeitsgruppen diskutiert.

In dieser Ausgabe sind Proceedings von mehreren Werkstätten versammelt. Die Moderatoren haben in ganz unterschiedlicher Form Ergebnisse der Diskussionen dokumentiert. Von der **sechsten Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme** zum Thema „Zustandserkennung und Systemgestaltung“ im Oktober 2005 kommen zwei Berichte: A. Oehme und T. Jürgensohn berichten von den Ergebnissen des Arbeitskreises Blickbewegung. A. Naumann, L. Urbas, H. Wandke und H. Kolrep-Rometsch dokumentieren die Ergebnisse vom Workshop zum Thema Regeln zur Systemgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle für Vernetztes Fahren. Der Beitrag von S. Leuchter und J. Geisler zum Thema Simulation des Menschen als Entscheider in der netzbasierten Operationsführung ist eine erweiterte Version eines Vortrages beim **DWT-Forum Modellierung und Simulation** in Bad Godesberg im Februar 2006. Von der **Frühjahrsschule des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme** der TU Berlin im April 2006 kommen drei Beiträge für diese Ausgabe: J. Dzaack, M. Heinath und J. Kiefer haben eine Werkstatt zu kognitiver Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen organisiert, N. Fricke, C. Glaser und M. De Filippis hatten das Thema passive und aktive Sicherheitsmaßnahmen im Kraftfahrzeug und A. Klostermann und J. Huss dokumentierten die Sitzung zu Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Systeme.

Die Beiträge sind übrigens auch über den Kurz-Link <http://useworld.net/mmij/werk> erreichbar.

Zum Schluss noch ein Aufruf: MMI-Interaktiv ist neben den bewährten Berichten offen für alle Beitragsformen, die dem Austausch in der Community dienen: Bitte schicken Sie uns für die nächste Ausgabe, die gegen Ende des Jahres erscheinen soll, Buchrezensionen und Berichte von MMI-Veranstaltungen. Sie können auch gerne eine eigene Werkstatt aus MMI-Interaktiv machen: Veröffentlichen Sie Ihre Forschungsskizzen und Berichte über laufende Projekte. Bei Interesse wenden Sie sich bitte an uns

Sandro Leuchter (sandro.leuchter@safety-critical.de) und
Leon Urbas (leon.urbas@tu-dresden.de).

Arbeitskreis Blickbewegung: Chancen und Schwächen der Blickanalyse bei der Bewertung von Objekten

ASTRID OEHME & THOMAS JÜRGENSOHN

HFC Human-Factors-Consult GmbH, Berlin

Schlüsselwörter: Blickbewegung, Produktbewertung

1. Der Arbeitskreis Blickbewegung

Der Arbeitskreis Blickbewegung wurde während der 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme durchgeführt. Die 6. Werkstatt MMS widmete sich der *Zustands-erkennung und Systemgestaltung*. Neben Modellierungsansätzen und Forschungsberichten standen v.a. auch die Methoden zur Erkennung verschiedener Phänomene, wie z.B. Müdigkeit und Beanspruchung im Vordergrund. Im Arbeitskreis Blickbewegung wurden Möglichkeiten und Grenzen der Blickerfassung von Experten diskutiert und Lösungsvorschläge für eine sinnvolle Kopplung von objektiven Blick- und subjektiven Entscheidungsdaten erarbeitet.

2. Blickbewegung und Verarbeitung

Um den Nachteilen einer reinen Befragung entgegen zu wirken und gleichzeitig Entscheidungsprozesse beim Kunden sichtbar zu machen, setzt die Firma HFC Human-Factors-Consult GmbH, wie in der Marktforschung üblich, Blickbewegungsanalyse ein, um das Blickverhalten der Probanden während der Betrachtung und Bewertung von Produkten zu analysieren.

Blickbewegungsparameter sind objektive Personenparameter. Sie sind stark gewohnheitsorientiert und wenig willentlich beeinflusst (z.B. Leven 1986). Beim Einsatz der Blickanalyse wird häufig davon ausgegangen, dass es eine allgemeine Übereinstimmung von Fixationsort und Aufmerksamkeit bzw. Informationsaufnahme und -verarbeitung gibt. Dieser Zusammenhang ist am augenscheinlichsten beim Lesen von Texten. Prinzipiell werden alle Hauptwörter eines Textes fixiert mit Ausnahme

kurzer Wörter, wie z.B. Artikel (z.B. Just & Carpenter 1980). Schroiff (1986) diskutiert diese Annahmen kritisch. Der Autor argumentiert, dass das funktionale visuelle Feld über den eigentlichen Fixationsort hinausgeht und somit die genaue Zuordnung von Blick und Verarbeitung verzerrt ist.

Ergebnisse, die den Einsatz der Blickbewegungsmessung zur Erfassung von Verarbeitungsvorgängen stützen, kommen aus neueren Untersuchungen zu natürlichen, alltäglichen Aufgaben. Dabei konnte in vielen Untersuchungen gezeigt werden, dass Fixationen mit dem Verlauf der jeweiligen Aufgabe zeitlich eng verbunden sind (Hayhoe 2004), wobei nur selten Objekte fixiert werden, die für die jeweilige Aufgabe nicht relevant sind (Hayhoe, Shrivastava, Myruczek & Pelz 2003). Viele der Fixationen bei natürlichen Aufgaben dienen scheinbar auch der Aufnahme sehr spezifischer Informationen (z.B. Land & McLeod 2000).

In weniger anwendungsorientierter Forschung zeigten z.B. Velichkovsky, Sprenger & Pomplun (1997) einen positiven Zusammenhang zwischen der Verarbeitungstiefe und der Fixationsdauer. Fixationsdauern stiegen bei metakognitiver im Gegensatz zu einfacher, perzeptiver Verarbeitung.

Wie zahlreiche Untersuchungen zeigen, scheint die Blickanalyse zusätzliche Information über den Entscheidungsprozess bereitzustellen, birgt aber auch das Risiko der Überinterpretation von Ergebnissen.

Zu diesem Thema wurden im Arbeitskreis Blickbewegung drei Expertenrunden einberufen, die über Chancen und Unzulänglichkeiten der Blickanalyse für die Interpretation von Produktbeurteilungen diskutierten. Im Anschluss an die Diskussion und Präsentation der Gruppenergebnisse wurden aktuelle Arbeiten des Spiegelinstitutes Mannheim vorgestellt.

2.1 Gruppenarbeit

Nach einer Kurzpräsentation zur Einführung in das Thema mit Beispielen aus der aktuellen Arbeit von HFC wurde den Gruppen je eine Diskussionsfrage gestellt:

1. Chancen der Blickbewegungsmessung: Welche Schlüsse können aus Blickdaten für eine Beurteilung gezogen werden?
2. Schwächen der Blickbewegungsmessung: Welche Schlüsse lassen sich für eine Beurteilung aus Blickdaten nicht ziehen?
3. Wie müsste eine Befragung gestaltet sein, um möglichst viele Informationen aus den Blickdaten ziehen zu können?

Die Ergebnisse der Gruppenarbeit wurden von den jeweiligen Protokollanten auf Folien festgehalten und im Anschluss an die Diskussionsphase präsentiert und diskutiert. Dabei musste festgestellt werden, dass zwei Gruppen Frage 2 beantwortet hatten und damit Frage 1 nicht diskutiert wurde.

2.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppen

Zwei Gruppen bearbeiteten die Frage 2: „Schwächen der Blickbewegungsmessung: Welche Schlüsse lassen sich für eine Beurteilung aus Blickdaten nicht ziehen?“

Gruppe 1:

- Peripheres Sehen kann nicht durch die Messung der Blickbewegung erfasst werden.

- Die Motivation bei der Bewertung ist unklar – ist ein Objekt besonders auffällig oder wendet der Proband diese Blickstruktur üblicherweise immer an?
- Die Erfahrung der Probanden spielt eine mögliche Rolle. Experten schauen vielleicht anders auf Objekte als Novizen. Es könnte Kohorteneffekte geben (Alterseffekte).
- Zeitdruck löst evtl. ein anderes Scanningverhalten aus.
- Die Aufgabenstellung könnte zu sozial erwünschtem Verhalten führen, z.B. weil die Probanden eine Kampagne unterstützen wollen.
- Mit Kopf-getragenen Systemen können sich die Probanden frei bewegen, aber die Auswertung ist aufwändig und verursacht hohe Kosten.
- Bei einer großen Darstellung der Objekte erfolgt eine zu zielgenaue Auswertung. Die Erfassung der Peripherie wird nicht einbezogen.
- Bei der Auswertung von 2-D Darstellungen interessieren ‚areas of interest‘, aber nicht ‚spaces of interest‘. Dadurch werden nur Reize ausgewertet, die im Vordergrund liegen; die dahinter liegenden werden nicht gemessen.
- Gibt es überhaupt einen Zusammenhang zwischen Zuwendungsdauer und Bewertung?

Gruppe 2:

- Die Ergebnisse von Blickbewegung sind immer relativ zu sehen – es sind immer Vergleiche.
- Es ist unklar, ob ein Objekt eine positive oder negative Valenz hat, wenn man es betrachtet (das wird ja dann durch die Befragung geklärt).
- Eine Blickzuwendung ist eine notwendige aber nicht hinreichende Bedingung für die Beurteilung – es spielen noch andere Faktoren eine Rolle.
- Blickbewegung und lautes Denken führt zu Henne-Ei Problemen.
- Aus Blickverhalten kann nicht auf die Entscheidung geschlossen werden.
- Vorschlag: tachistoskopische Untersuchungen statt Blickbewegungsmessung zur Analyse, welche Merkmale relevant sind.
- Es ist unklar, was einzelne angeschaute Elemente eigentlich aussagen. Was wird peripher wahrgenommen und in Entscheidung einbezogen?
- Nicht nur Verweildauern sollten betrachtet werden sondern auch Blickstrategien, Driftbewegungen etc.
- Was wurde nicht angeschaut? – Negativaussagen sind möglich.
- Menschen haben verschiedene Modelle darüber, was sportlich ist. Verschiedene Menschen schauen verschiedene Merkmale an.

Gruppe 3: Wie müsste eine Befragung gestaltet sein, um möglichst viele Informationen aus den Blickdaten ziehen zu können?

- Befragung vor der Untersuchung um herauszufinden, welche Informationen wichtig für die Beurteilung sind. Daraus können erste Hypothesen über Blickbewegung gebildet werden, da ein Blick auf ein Merkmal ja auch Aufmerksamkeit und kognitiven Aufwand bedeutet.
- Lautes Denken beeinflusst die Aufgabenbearbeitung.
- Mit der Blickerfassung beginnen und anschließend befragen. Mit der Blickbewegung werden Hypothesen generiert: Welche *areas of interest* wurden betrachtet? Diese geben den Ausgangspunkt für eine nachgestellte Befragung. (Frage nach der Valenz: Hat das Merkmal gut gefallen oder nicht?)
- Kombination aus Blickbewegungsanalyse und Videokonfrontation: zunächst die Blickpfade aufnehmen und im Nachgang eine Befragung durchführen. Warum wurde auf ein bestimmtes Merkmal geschaut? So kann auch geprüft werden, ob der Blick immer bewusst ist.
- Befragung vor und nach der Blickerfassung, um herauszufinden, was zielführend ist und bei welcher Untersuchungskombination Artefakte entstehen. Dies ist ein wichtiges Forschungsthema.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit einem geeigneten Versuchsdesign durch Blickanalysen wertvolle Informationen für die Interpretation von Produktbewertungen gewonnen werden können.

Wir bedanken uns herzlich für die angeregte Diskussion und die wertvollen Ansatzpunkte für weitere Blickuntersuchungen.

3. Literatur

- Hayhoe, M.M. (2004). Advances in relating eye movements and cognition. *Infancy*, 6 (2), 267-274.
- Hayhoe, M.M., Shrivastava, A., Myruczek, R. & Pelz, J.B. (2003). Visual memory and motor planning in a natural task. *Journal of Vision*, 3, 49-63.
- Just M.A. & Carpenter P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychologica Review*, 87, 329-354.
- Land, M. & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *nature neuroscience*, 3 (12), 1340-1345.
- Leven, W. (1986). Blickregistrierung in der Werbeforschung. In: L.-J. Issing, H.D. Mickasch & J. Haack (Hrsg.). *Blickbewegung und Bildverarbeitung*. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Schroiff, H.-W. (1986). Zum Stellenwert von Blickbewegungsdaten bei der Mikroanalyse kognitiver Prozesse. In: L.-J. Issing, H.D. Mickasch & J. Haack (Hrsg.). *Blickbewegung und Bildverarbeitung*. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Velichkovsky, B.M., Sprenger, A. & Pomplun, M. (1997). Auf dem Weg zur Blickmaus: Die Beeinflussung der Fixationsdauer durch kognitive und kommunikative Aufgaben. In: R. Liskowsky, B.M. Velichkovsky & W. Wünschmann (Hrsg.). *Software-Ergonomie*. Stuttgart: Teubner.

Mensch-Maschine-Schnittstelle für Vernetztes Fahren: Regeln zur Systemgestaltung

ANJA NAUMANN¹, LEON URBAS¹, HARTMUT WANDKE² & HARALD KOLREP-
ROMETSCH³

¹Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS), TU Berlin

²Institut für Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin

³HFC Human-Factors-Consult GmbH, Berlin

Schlüsselwörter: Gestaltung MMI, Verkehrspsychologie, Usability, Fahrerinteraktionssysteme

Zusammenfassung

Der Arbeitskreis Vernetztes Fahren der 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme beschäftigte sich mit der Gestaltung von Unterstützungssystemen zur Vernetzung von Kraftfahrzeugen untereinander oder mit anderen Datenquellen. Anhand von Leitfragen wurden Ideen zu Funktionen und Bedienkonzepten eines solchen Systems zusammengetragen und diskutiert. Diese Entwicklung von Gestaltungsvorschlägen erfolgte dabei in drei Teilgruppen, gegliedert nach drei möglichen Anwendungsgebieten des Vernetzten Fahrens: Soziale Navigation, Einkaufen und Chat. Es ergaben sich sowohl anwendungsspezifische Vorschläge als auch gebietsübergreifende Gestaltungsregeln.

1. Vernetztes Fahren – Was ist das?

Unter Vernetztem Fahren versteht man Funktionen der Unterstützung von Fahrzeugführern, die dadurch erreicht werden, dass das Fahrzeug in der Lage ist – ganz gleich auf welcher technischen Basis – Datenverbindung zu anderen Fahrzeugen, Personen, Infrastruktur, Dienstleistern oder ähnlichen Kommunikationspartnern aufzunehmen. In einer Vorstudie wurden drei mögliche größere Anwendungsgebiete für eine solche Unterstützung identifiziert: Soziale Navigation, Einkaufen und Chat. Im folgenden soll eine kurze Einführung in diese Anwendungsgebiete gegeben werden.

1.1 Soziale Navigation

Hörerbasierte „Blitzer- und Staudienste“ verschiedener Rundfunksender, die aktuelle Meldungen von Hörern über Verkehrsbehinderungen und Radarkontrollen verbreiten, können als Empfehlungssystem mit zentraler Redaktion verstanden werden. Die Informationen erwecken den Augenschein hoher Aktualität der Verkehrsinformation, allerdings ist die Bandbreite der übertragbaren Information aufgrund des Audioformats stark beschränkt. In vielen Bereichen der Netzkultur haben sich weitere soziale Bewertungs- und Empfehlungssysteme etabliert. Diese bauen auf verschiedenen Mechanismen auf, die Beispiele reichen von aus Verhalten abgeleiteten Verbraucherempfehlungen (Wer dieses Buch gekauft hat, hat auch jenes gekauft.) über Punktesysteme und/oder Rezensionen bis hin zu einflussreichen Web-Tagebüchern (blogs). Empfehlungssysteme sind oft schneller als die klassischen Informationskanäle (Print, TV oder redaktionell bearbeitete Newsportale im Internet), die Subjektivität der Urteile wird dabei von den Rezipienten zumeist als positiv gewertet. Diese Grundidee könnte in ein computergestütztes Empfehlungssystem für die aktuelle Verkehrslagebewertung mit folgenden Grundzügen übertragen werden:

- zu einer Meldung wird die GPS-Position und die Zeit übertragen,
- Meldungen könnten ggf. in einer zentralen Instanz bearbeitet, d.h. zusammengefasst, gewichtet und gefiltert werden und
- Meldungen können auf Empfängerseite anhand der aktuellen Route des Navigationssystems bewertet und für die Routenplanung berücksichtigt werden.

1.2 Einkaufen

Befragt man Fahrer nach Funktionen, die zukünftig im Rahmen des Vernetzten Fahrens zur Verfügung gestellt werden sollen, wird von Fahrern auch die Möglichkeit genannt, auf der Fahrt von der Arbeit nach Hause beim Einzelhändler eine Bestellung aufzugeben, die dann nur noch abgeholt werden braucht. Im Einzelnen kann das bedeuten:

- ein oder mehrere geeignete Anbieter auf der Fahrstrecke werden ausgewählt,
- Angebote und Preise können verglichen werden,
- eine Bestellung kann platziert werden und
- die Bestellung wird abgeholt und online bezahlt.

Überlegungen zum Nutzen dieser Funktion zeigen folgende Möglichkeiten auf:

- Meldungen können auf Empfängerseite anhand der aktuellen Route des Navigationssystems bewertet und für die Routenplanung berücksichtigt werden.
- Pannen oder Defekte während der Fahrt können durch geeignete Bestellung in einer Werkstatt kurzfristig behoben werden.
- Die „tote“ Fahrtzeit von Pendlern kann für Erledigungen genutzt werden.
- Durch geeignete Durchfahrten beim Abholen kann die Parkplatzsuche beim Einkaufen entfallen. Der Parkplatzsuchverkehr in Großstädten wird reduziert und Energie gespart.
- Einzelhändler vor Ort können zusätzliche Kunden gewinnen. Es entsteht eine neue Einkaufsmöglichkeit, die zwischen dem Online-Shopping und dem realen Shopping situiert ist. Gegenüber Online-Shopping können u.U. Kosten reduziert werden, da Liefergebühren entfallen.

1.3 Chat

Auf die Frage nach Funktionen, die einen Nutzen versprechen, werden von Fahrern häufig auch die folgenden genannt:

- Chatten,
- Fahrer und Mitfahrer können Kontakt zu anderen Autos aufnehmen,
- man kann miteinander sprechen,
- E-Mails und SMS können ausgetauscht werden und
- Verkehrsteilnehmer informieren sich gegenseitig.

Im Hinblick auf den Nutzen dieser Funktion sind folgende Szenarien vorstellbar. So könnte man:

- andere Fahrer auf bestimmte Dinge an ihrem Fahrzeug aufmerksam machen (z. B. dass das rechte Bremslicht defekt ist, dass eine Radkappe abzufallen droht usw.),
- sich Hinweise zur Durchführung von Fahrmanövern geben, die jetzt nur durch Blinken, Hupe, Lichthupe oder Handzeichen möglich sind (Beispiele: Ein Lkw-Fahrer kann einem nachfolgenden Pkw mitteilen, dass er jetzt nicht überholen sollte. Ein Fahrer teilt dem anderen beim Einfädeln mit, dass er ihn auf seine Fahrspur lässt. Man kann mit anderen verhandeln, wer zuerst fährt, wenn z. B. Fahrer aus einer Nebenstraße in eine verstopfte Hauptstraße wollen.),
- anderen Fahrern Hinweise zur Strecke, zur Fahrbahn, zu Gefahrenquellen etc. geben,
- anderen Fahrern Hinweise zu Ihrem Fahrverhalten geben (Beispiele: Sie fahren zu schnell / zu langsam / zu sehr in der Mitte. Sie fahren zu dicht auf.),
- andere Fahrer oder Mitfahrer um Rat fragen (Beispiele: Wieweit ist es noch nach Adorf? Wer weiß, wann ich abbiegen muss, um nach Bedorf zu kommen? Fahren Sie nach Cedorf? Ich würde Ihnen gern hinterherfahren, da ich den Weg nicht kenne.) oder
- sich auf langweiligen Fahrten die Zeit vertreiben, indem man mit anderen plaudert.

2. Fahrerinteraktionssysteme für vernetztes Fahren

Eine Reihe von Bedienungs- und Akzeptanzproblemen, die in jüngster Vergangenheit im Zusammenhang mit modernen, teilweise multimedialen Fahrerinteraktionssystemen bekannt geworden sind, sind auf die großen Unterschiede in Vorwissen, Erfahrung und Fähigkeiten der Fahrerpopulation bei gleichzeitiger hoher Komplexität der Systeme zurückzuführen. Werden Kraftfahrzeuge miteinander oder mit anderen Datenquellen vernetzt, ergeben sich zusätzlich Potentiale an neuen Funktionen und Diensten, die die Nutzungskomplexität weiter erhöhen werden. Neben gezielten Schulungen oder dem bewussten Verzicht auf Funktionalität bietet sich die *adaptive Anpassung* als eine Lösung des Dilemmas der steigenden Komplexität an. Ein adaptiv an die Fahrsituation und die Fahrerin oder den Fahrer angepasstes System kann die inter- und womöglich intrapersonellen Unterschiede der Fahrer abpuffern oder zum Teil abfangen. Andererseits sind mit der Adaptivität auch Risiken verbunden. Ein fehladaptiertes System oder eine intransparente Adaptation kann sich auch negativ auf die Bedienbarkeit und die Sicherheit auswirken.

Die mit der Vernetzung und der Adaptivität verbundenen Potentiale und Risiken sind für die Domäne der Fahrzeugführung kaum untersucht, und es liegen wenige Erfahrungen vor. Dagegen sind ähnliche Überlegungen und erfolgreiche Umsetzungen in anderen Mensch-Maschine-Domänen schon seit vielen Jahren bekannt. Insbesondere im Bereich der Bedienung von großtechnischen Anlagen und im Bereich der Flugführung wurden in der Vergangenheit eine Reihe von erfolgreichen - allerdings auch weniger erfolgreichen - adaptiven Umsetzungen entwickelt. Eine Übertragung auf die Problematik der Fahrzeugführung ist möglich, und benötigt selbstverständlich eine sorgfältige Prüfung der Bedingungen, die zu einem Erfolg bzw. zu einem Scheitern geführt haben. Mit Hilfe einer sorgfältig durchgeführten und auf die Problematik der Fahrzeugführung transferierten Analyse lassen sich Maßnahmen zur Einführung von Vernetzung und Adaptivität im Vorfeld oder während der technischen Entwicklung wesentlich effektiver gestalten.

In einem Verbundprojekt der Autoren wird die skizzierte Problematik gegenwärtig untersucht. Ziel des Arbeitskreises war eine Aufstellung von Kriterien, die bei der Gestaltung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für drei mögliche Anwendungsgebiete des vernetzten Fahrens (Soziale Navigation, Einkaufen und Chat) beachtet werden sollten. Zentrale Themen waren dabei die konzeptuelle Auslegung der Schnittstelle, die Dialogführung und die Ein- und Ausgabemodalitäten. Zu jedem dieser Themenkomplexe wurden einige Leitfragen formuliert. Im folgenden sollen einige Beispiele dafür genannt werden:

Konzeptuelle Auslegung der Schnittstelle

- Soll die Funktion immer zur Verfügung stehen oder nur unter bestimmten Bedingungen? Was könnten solche Bedingungen sein? Soll man die Funktion jederzeit abschalten können?
- Was an dem Austausch soll manuell erfolgen, was automatisch?
- Sollen nur Informationen zwischen Personen übertragen werden oder sollen automatisch weitere Daten hinzugefügt werden (z.B. Vcard oder aktuelles Fahrziel)?

Dialogführung

- Wie wird so ein Austausch initiiert? Wie wird er beendet? Soll er unterbrochen werden können? Wenn ja, wie?
- Sollen Meldungen ggf. zeitverzögert übermittelt werden, damit sie z.B. nicht während eines Überholvorgangs ankommen?
- Soll man sich gegen Nachrichten abschotten können? Wenn ja, wie?
- Sollen dringende Nachrichten gekennzeichnet werden? Wenn ja, wie?

Modalitäten der Ein- und Ausgabegeräte

- In welcher Modalität sollen die Nachrichten ausgetauscht werden (z.B. akustisch oder visuell oder in Kombination)?
- Welche Geräte sollen für den Austausch genutzt werden können (z.B. ein tragbares Gerät oder eingebaute Spezialgeräte)? Sollen die Funktionen auf bereits vorhandene Geräte (z.B. Mobiltelefon oder PDA) aufsetzen?
- Sollen Funktionstasten oder Menüoptionen verwendet werden? Ist eine Mischung sinnvoll?

3. Ergebnisse des Arbeitskreises – Vorschläge für die Systemgestaltung

Bei der Durchführung des Arbeitskreises wurden zunächst das Konzept des vernetzten Fahrens und die drei Anwendungsgebiete (Soziale Navigation, Einkaufen und Chat) vorgestellt. Danach wurde jeweils eines der drei Themen in einer Gruppe von ca. 15-20 Personen bearbeitet. Dabei wurden anhand der o.g. Leitfragen Ideen zu Funktionen und Bedienkonzepten eines Fahrerinteraktionssystems zusammengetragen und diskutiert. Die Ergebnisse der Gruppenarbeit werden für jede der drei Teilgruppen (Soziale Navigation, Einkaufen und Chat) im folgenden dargestellt.

3.1 Soziale Navigation

Für das Anwendungsgebiet Soziale Navigation ergab sich zuerst die Frage nach der Möglichkeit des *Ein- und Ausschaltens des Systems*. Zentral waren dabei folgende Punkte:

- Sollte das System immer zur Verfügung stehen? Die Entscheidung sollte nach Informationskategorien erfolgen: Raststättenbewertung nicht immer verfügbar, Gefahr immer.
- In Gefahrensituationen: System soll sich bei visuellen Informationen nicht automatisch abschalten (In der gefährlichen Situation schaut man eh nicht drauf!?) – aber wie ist es bei akustischen Signalen, dann doch automatische Abschaltung? Sollte es einen „Workload-Manager“ geben?
- Klärt sich die Frage des permanent oder nur selten angeschalteten Systems vielleicht selbst über die Kostenfrage?

Es ergab sich folgender Konsens: Das System muss jederzeit abschaltbar sein. Weiterhin sollte ein Filter einstellbar sein, ob man nur Gefahrenwarnungen oder auch Zusatzinformationen (und welche) haben möchte.

Der nächste Diskussionspunkt beschäftigte sich mit der Frage, ob ein Benutzer die *Information an alle* senden oder ob die *Kommunikation eins zu eins* funktionieren sollte. Dabei ergab sich folgendes Fazit:

- Es ist eine zentrale Sammelstelle notwendig. Die Informationen sollen entweder erst gesammelt und dann verteilt oder gleich verteilt werden. Dabei werden unterschiedliche Informationen anders behandelt, je nach Missbrauchsmöglichkeit, Wichtigkeit und Dauerhaftigkeit (z.B. lang: Raststättenbewertung, kurz: Ölpfütze).
- Eine eins- zu eins- Kommunikation sollte z.B. bei zeitlich naher und lokal begrenzter Information stattfinden (z.B. Ölpfützen, liegengebliebenes Fahrzeug im Umkreis von 500 oder 1000m). Hier ist eine Auswahlmöglichkeit notwendig: will ich Info haben oder nicht. Danach wäre auch eine Rückmeldung an die Zentrale möglich, ob die Information stimmte oder nicht.

Weiterhin zeigte sich, dass bestimmte Ereignisse für verschiedene Gruppen relevant sind (z.B. nur die Fahrer hinter mir oder auch entgegenkommender Verkehr). Es ist auch die Bildung von „Communities“ (Fahrer mit gleichem Fahrstil oder gleichen Interessenlagen, gleichen Fahrtrouten, etc.) möglich. Nur diese Personen erhalten

dann bestimmte Informationen, eine Anmeldung in der „Community“ ist dabei notwendig.

Wie könnte nun das *Senden der Informationen* konkret ablaufen? Aus dieser Frage ergab sich folgende Problematik: Wann wird das Ereignis gemeldet/abgemeldet? Eine Möglichkeit wäre z.B. das Drücken einer Taste am Anfang des Staus und nochmals am Ende. Folgende Prozedur wäre vorstellbar: Zu Beginn Drücken „Beginn des Ereignisses“, dann Durchklicken durch das Menü zur Spezifizierung des Ereignisses. Je nach Situation kann man mehr oder weniger detaillierte Informationen eingeben. Wichtig ist dabei, dass eine spätere Möglichkeit der Korrektur der Eingabe möglich ist. Eine „Ereignistaste“ könnte sich am Lenkrad befinden oder auch durch den Beifahrer bedienbar sein. Zeit und Position des Fahrzeuges werden automatisch an die Zentrale gesendet. Problematisch wird es allerdings, wenn die Meldung beispielsweise erst am Ende des Nebels möglich ist, da eine Eingabe sonst zu gefährlich ist. Wie wird dann richtige Zeit und Position übermittelt? Diese Frage blieb offen. Vorstellbar wäre auch eine Spracheingabe per Sprachkanal zum Server bzw. zur Zentrale, die nachfragen kann bei Unklarheiten. Diese Variante ist aber sehr teuer. Aus dieser Problematik ergab sich eine weitere Frage: Soll es ein Massensystem sein oder nur für Einzelne?

Ein weiterer zentraler Punkt der Diskussion war, welche *Informationen über den Sender* mitgeteilt werden und wie eine *Bewertung des Senders* erfolgen könnte:

- Eine Identifikation des Absenders ist notwendig zur Zuverlässigkeitsbeurteilung (z.B. selbst gewählter Nutzernamen und Bewertung mit Sternen wie bei Online-Auktionshaus). Es ist eine Gewichtung des Senders und damit der Information auf Basis der bisherigen Geschichte der Vertrauenswürdigkeit möglich.
- Problem: Wie erfolgt die Bewertung, wenn der Blitzer schon wieder weg ist? – Es ist nicht überprüfbar, ob die Info stimmte oder nicht.
- Unterscheidung in kurzfristige (nicht an Zentrale) und langfristige (an Zentrale) Informationen: Für Klassen von Ereignissen gibt es verschiedene Bewertungssysteme (z.B. wie viele Meldungen bisher, wie lange ist das her).
- Sortiert die Zentrale Informationen von 1* Fahrern aus und leitet nur die von 5* Fahrern weiter?
- Weitere Informationen über den Sender sind vorstellbar (z.B. Fahrstil, da nur die Hinweise eines schnellen Fahrers für mich relevant sind), auf Wunsch können auch Kontaktdaten weitergegeben werden (für Chat etc.) zur Befriedigung der Kommunikationsbedürfnisse.

Hinsichtlich *Art, Form und Modalität der Informationen* gab es folgende Vorschläge:

- Es sind Einzelinformationen oder kumulierte Informationen möglich und Profile einstellbar (z.B. nur Info aus der Gruppe mit meinem Fahrstil).
- Die Meldung „Gefahr“ ist zu unspezifisch, d.h. spezifizieren: „Unfall“, „Stau“.
- Die Eingabe erfolgt in Form von maschinenlesbare Daten (in welcher Form auch immer: Spracheingabe, Tasten,...).

- Es sind akustische und visuelle Information vorstellbar, z.B. beides integriert: Ansage „in 500m Stau“ in Verbindung mit visualisierter Verkehrssituation im Navigationssystem, wo eingegeben ist, wo man hin will.
- Am Ende soll ein integriertes System stehen, d.h. im Fahrzeug soll sich letztendlich nur *ein* Gerät (FIS) befinden, das alles umfasst: Navigation, Radio, Vernetzung, etc.

Ein weiterer Punkt betraf die mögliche *kognitive Überforderung* durch die Informationen. Hier wurde vorgeschlagen, dass man je nach „Langeweilegrad“ auswählen kann, wie viele Informationen man erhalten möchte.

Weiterhin wurden einige *Kostenmodelle* für den Dienst diskutiert. So könnte man sich ein Abonnement oder ein Prepaid-System für eine bestimmte Anzahl von Meldungen vorstellen. Eine weitere Möglichkeit ist ein Incentivierungsmodell: für eine „wertvolle“ gesendete Meldung gibt es beispielsweise 10 zu empfangende Meldungen frei.

Hinsichtlich der *Akzeptanz* eines solchen Systems zeigte sich, dass eher die jüngeren und „kommunikationshungrigen“ Teilnehmer der Diskussionsgruppe (die auch sonst chatten etc.) an einem solchen Dienst interessiert sind.

3.2 Einkaufen

Für das Anwendungsgebiet Einkaufen wurde zu Beginn festgestellt, dass es sich empfiehlt zunächst die Frage zu klären, welche *Art von Einkauf* im Fahrzeug erledigt oder initiiert werden kann. Handelt es sich dabei um

- alltäglichen Einkauf mit immer gleichen oder turnusmässig angepassten Einkaufslisten,
- besondere oder einmalige Einkaufsereignisse oder
- Einkäufe die primär auf das Fahrzeug bezogen sind (Ersatzteile, Zubehör, Verbrauchsmaterial)?

Die spezielle Situation im Kraftfahrzeug führt zu möglichen typischen Problemen für die genannten verschiedenen Einkaufsereignisse. Relativ einfach kann die Bedienung gestaltet werden, wenn es sich um wiederkehrende Einkaufslisten handelt, deren Bestellung lediglich ausgelöst werden muss. Nimmt man zusätzlich an, dass die Anbindung an Einkaufsportale der Händler über Vernetzung möglich ist, erlaubt die Kopplung mit Navigationssystemen eine Optimierung der Strecke hinsichtlich Fahrzeit und Einkaufspreisen.

Schwieriger ist die Bedienung bei einmaligen Einkäufen insbesondere, wenn die Auswahl von Produkt bzw. die Wahl eines Anbieters erst noch stattfinden muss. Während der Fahrt ist in der Regel nicht ausreichend Zeit, und die Aufmerksamkeit ist durch die Fahraufgabe gebunden, so dass ein Auswahlprozess zwischen Anbietern und/oder Produkten hier nicht denkbar ist. Die Wahlaufgabe kann dann nicht während der Fahrt (sondern nur im Stand) ausgeführt werden, wenn sie die Fahrer ablenkt.

Zum Umgang mit dem Problem der *Bedienbarkeit* bei einem Einkaufsvorgang wurden im Arbeitskreis mögliche Auslegungen diskutiert:

- Der Vorgang muss bei kritischen Fahrsituationen jederzeit unterbrechbar und anschließend wieder aufnehmbar sein.

- Für komplexe Auswahlaufgaben, die die Blicke beispielsweise auf einen Bildschirm ziehen, können nur echte Wartezeiten mit Stillstand (Ampel, Stau) genutzt werden. Dies erschien den Diskussionsteilnehmern schon aus rechtliche Gründen erforderlich, und gleichzeitig wird der Einkaufsvorgang insgesamt dadurch wenig attraktiv.
- Der Einsatz von Sprachbedienung sowie virtuellen Einkaufsberatern in Form von Avataren löst dieses Grundproblem nicht durchgreifend.
- Interessant erscheint dagegen das Zusammenwirken mit lokalen Computern zu Hause oder am Arbeitsplatz. Hier könnte auf entsprechend gestalteten Einkaufsportalen der Warenkorb gespeist und an das Fahrzeug übermittelt werden, welches dann mit dem Navigationssystem die Route zusammenstellt.

Die *Vorteile eines Fahrzeug-gestützten Einkaufssystems* wären:

- Totzeiten während der Fahrt können genutzt werden,
- die Aufgabe des Einkaufens (z.B. vor dem Wochenende) kann vorgezogen werden, Wege werden erspart.
- wenn bei den Händlern drive-through-Infrastruktur vorhanden ist, entfällt die Parkplatzsuche beim Einkaufen.

3.3 Chat

Für das Anwendungsgebiet Chat ergab sich zuerst die Frage nach Möglichkeiten der *Ein- und Ausgabe* für das System. Zentral waren dabei folgende Vorstellungen:

- Eine minimale Interaktion wird bevorzugt und diese eher sprachbasiert.
- Wenn eine manuelle Bedienung erfolgt, dann mit wenigen Bedienelementen und –möglichkeiten.
- Fahrer sollten weniger Ein- und Ausgabemöglichkeiten haben als Mitfahrer.
- Die Interaktion sollte kontextabhängig (Stau vs. Fahrt mit 180 km/h) und nutzerabhängig erfolgen (Multitaskingfähigkeit der Nutzer, Präferenzen für Ein- und Ausgabe-Modalitäten).
- Personalisierbarkeit ist gewünscht (Problem: Kompetenz der Nutzer, Aufwand).

Ein weiterer wesentlicher Punkt war der *Umgang mit der Informationsmenge und deren Begrenzung*. Möglich sein sollte:

- die Einstellung eines Filters (d.h. bestimmte Nachrichtentypen können je nach Anforderung des Fahrers empfangen werden),
- eine Zwischenspeicherung von Informationen zum späteren Abruf,
- eine Priorisierung der Informationen (Stauinformation kommt vor Unterhaltungsinformation/ Chat mit Freundin),
- das Management von Antworten mehrerer anderer Fahrer auf eine Frage,
- die Begrenzung des Informationsnetzwerks (z.B. 30 Wagen in der Umgebung),
- die Standardisierung von Informationen für den Empfänger (Hindernis bewegt sich/ nicht, Art des Hindernisses, automatische Lokation) und der möglichen Nachrichten für Sender (Senden durch „Antippen“),
- die Bereitstellung bestimmter Kanäle (Rooms/ Funktionen) für bestimmte Inhalte (z.B. Verkehrsinformationen vs. privater „Chat“), die Kanäle können

dabei frei gewählt werden, einige dieser Kanäle laufen in sternförmiger Kommunikation („Moderierte“ Gruppen), die Informationen werden bspw. durch Polizei/Behörden validiert,

- eine zwischengeschaltete intelligente Assistenz zur Filterung der Informationen und Delegation der Kommunikation.

Diskutiert wurde auch die *Verlässlichkeit und Verifizierbarkeit der Informationen*. Wie für das Anwendungsgebiet Soziale Navigation wurde auch hier die Bewertung der Sender der Information zur Erhöhung der Seriosität und Reliabilität vorgeschlagen. Als Problem bei der Bewertung der Sender wurden der hohe Aufwand und die hohe Zahl an Autofahrern angesehen (Bekommt man jemals von einem Sender, den man bewertet hat, erneut eine Info? Lohnt sich die Bewertung?). Als weiteres Problem wurde die Subjektivität von Gefahreinschätzungen genannt. Diese kann dazu führen, dass selbst „kleine“ Gefahren als „große“ berichtet werden.

Hinsichtlich der *Automatisierung der Informationsübermittlung* wurde vorgeschlagen, dass sicherheitsrelevante Informationen, z.B. akute Gefahren im Umfeld, durch Sensorik erfasst und „car-to-car“ automatisch weitergegeben werden. Unterhaltungsinformationen sollten jedoch von Fahrer zu Fahrer und nicht automatisch übermittelt werden.

Im Hinblick auf die *Kommunikationsbereitschaft* wurde die Möglichkeit vorgeschlagen, am Fahrzeug sichtbar anzuzeigen, ob man „empfangsbereit“ ist. Des Weiteren sollte eine selektive Abschottung möglich sein (z.B. gegen Aggressionen). Probleme könnten hier durch soziale Zurückweisung auftreten (anderer Fahrer lehnt Kontakt ab, Frau lehnt Flirt von Mann ab, der jedoch verfolgt sie). Eine Kommunikation sollte auch zu Personen ausserhalb von Automobilen möglich sein, die als Partner des Informationsnetzwerkes fungieren. Die Anzeige potentieller Kommunikationspartner auf dem Display könnte als Umfeldrepräsentation erfolgen (Farbe, Position im Umfeld), die Kontaktaufnahme jedoch auch durch Eingabe des KFZ-Kennzeichens, wobei der Partner vorher durch den Blick ins Umfeld lokalisiert wird. Der Sender bzw. Empfänger entscheidet jeweils, ob und wofür er angezeigt werden möchte.

Neben den verschiedenen Vorstellungen zur Funktionsweise eines solchen Systems wurden auch mögliche *Gefahren* durch das System genannt. Zentral ist hierbei die Gefahr der Ablenkung vom Straßenverkehr, besonders dann, wenn das System nicht abgeschaltet werden kann. Weiterhin besteht die Gefahr der erlernten Sorglosigkeit, d.h. wenn vom System keine Gefahr angezeigt wird, fährt der Fahrer riskanter oder unvorsichtiger.

Wie auch bei der Sozialen Navigation wird die *Integration des Systems* in andere, schon vorhandene Fahrerinformations- oder Fahrerassistenzsysteme gewünscht. Zusätzlich wurde eine Berücksichtigung der Bedürfnisse von Sendern und Empfängern gleichermaßen und eine Übertragung der natürlichen menschlichen Kommunikation auf die technisch vermittelte Kommunikation vorgeschlagen (z.B. Wann sind Fahrer bereit, Informationen zu geben?).

4. Fazit

Bezüglich eines Systems zur Unterstützung des Vernetzten Fahrens konnten im Arbeitskreis *Gestaltungsvorschläge* erarbeitet werden, die für die drei Anwendungsgebiete Soziale Navigation, Einkaufen und Chat gleichermaßen zutreffen. So sollte ein solches System in ein schon vorhandenes System (z.B. Fahrerinformationssystem) integriert werden, sodass sich der Fahrer letztendlich nur auf ein einziges System konzentrieren muss. Ein wichtiger Punkt ist auch, dass eine Filterung der Informationen möglich sein muss, d.h. der Fahrer muss entscheiden können, was gesendet und empfangen wird. Für die Anwendungen Soziale Navigation und Chat wurden dafür weitere Spezifikationen vorgenommen. So sollte eine Priorisierung der Informationen nach Relevanz erfolgen und eine zentrale Instanz zur Filterung und Weiterleitung der Informationen etabliert werden. Als zwingend notwendig wird dabei die Bewertung des Senders zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit erachtet. Es sollte auch eine Kommunikation in begrenzten Gruppen möglich sein.

Gleichzeitig wurde jedoch auch die *Gefahr der Ablenkung* durch das System betont. So sollte das System so gestaltet sein, dass die Interaktion in kritischen Fahrsituationen jederzeit unterbrechbar und anschließend wiederaufnehmbar ist. Die Möglichkeit des Abschaltens muss ebenfalls jederzeit gegeben sein.

Im Verbundprojekt der Autoren werden nun die erarbeiteten Gestaltungsvorschläge als Hilfestellung bei der gemeinsamen Entwicklung und Evaluation eines Systems zur Unterstützung des Vernetzten Fahrens dienen.

5. Danksagung

Wir danken allen Teilnehmern des Arbeitskreises für ihre zahlreichen Ideen und Anregungen.

Simulation des Menschen als Entscheider in der netzbasierten Operationsführung¹

SANDRO LEUCHTER & JÜRGEN GEISLER

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe

Schlüsselwörter: Kognitive Modellierung, netzbasierte Operationsführung (NetOpFü), Training, Computer Generated Forces (CGF), Game Engine

1. Transformation der Bundeswehr und netzbasierte Operationsführung

Die deutschen Streitkräfte befinden sich gegenwärtig in einem grundlegenden Umbau von Grundverständnis und Aufgaben weg von den Vorgaben der Ost-West Konfrontation hin zu Szenarien asymmetrischer Kriegsführung mit überstaatlichem Mandat. Damit einher geht die Anpassung von Organisationsstrukturen und des Wehrmaterials. Diese Transformation, niedergelegt in der Konzeption der Bundeswehr (KdB, zitiert nach BMVg 2004), hat als wesentliche Zielstellung die Steigerung der Einsatzfähigkeit der Bundeswehr im Zusammenwirken aller Teilstreitkräfte. Dabei ist die Bundeswehr immer in multinationale Operationen eingebunden. Das bedingt auch technische und organisatorische Entwicklungen, um Interoperabilität mit den Verbündeten herzustellen.

Die neuen Aufgaben der Bundeswehr umfassen Einsätze zur Konfliktverhütung und Krisenbewältigung. Dazu ist ein angepasstes Fähigkeitsprofil erforderlich. Es wird aus den sechs miteinander verzahnten Kategorien „Führungsfähigkeit“, „Nachrichtengewinnung und Aufklärung“, „Mobilität“, „Wirksamkeit im Einsatz“, „Unterstützung und Durchhaltefähigkeit“, „Überlebensfähigkeit und Schutz“ gebildet. Um das angestrebte Profil zu erreichen, sind bisher nicht vorhandene Teilfähigkeiten wie die weltweite Aufklärung oder leistungsfähige und interoperable Führungssysteme und -mittel neu zu entwickeln. Die kontinuierliche Zukunftsfähigkeit soll durch frühzeitiges Erkennen und Nutzen des Innovationspotenzials technischer Entwicklungen im Rahmen der experimentellen Überprüfung erfolgen.

¹ Überarbeitetes und erweitertes Vortragsmanuskript DWT-Forum Modellbildung und Simulation im Bereich Transformation und System-Engineering, 7. – 8. Februar 2006, Bad Godesberg.

Ein wesentliches Prinzip, das mit der KdB eingeführt wurde, ist die netzbasierte Operationsführung (NetOpFü). Hier sollen in einem streitkräftegemeinsamen und führungsebenenübergreifenden, interoperablen Informations- und Kommunikationsverbund alle beteiligten Personen, Stellen, Sensoren und Effektoren miteinander verbunden werden. Das Ziel ist Überlegenheit im Einsatz durch einen Informationsvorsprung zu erreichen. Dazu müssen alle Beteiligten zeitnah mit relevanten Informationen versorgt werden. Dazu gehört genauso, alle verfügbare Information zu erheben, zu korrelieren und fusionieren und bedarfsgerecht zu verteilen, um Führungs- und Entscheidungsprozesse auf der Basis eines umfassenden rollen- und ebengerechten Lagebildes zu beschleunigen. Letztlich sind alle Kräfte und Mittel auf den Ebenen Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Führung und Wirkung miteinander verbunden, um effektiv und mit kurzen Reaktionszeiten zusammenzuwirken.

Die Transformation und insbesondere die Prämissen von NetOpFü stellen den Einzelnen in den Vordergrund. Die Verbindung der deutschen Auftragstaktik mit den neuen Mitteln der Informationstechnologie führt zu einer „wissensbasierten“ Aufgabencharakteristik. Gesucht ist „mitdenkendes, gut ausgebildetes, leistungsfähiges und leistungswilliges Personal“, um mit den informations- und kommunikationstechnischen Mitteln umzugehen und aus Daten Informationen und daraus wiederum einen Vorteil im Einsatz zu generieren.

2. Modellierung und Simulation menschlichen Verhaltens

Unter „Kognitiver Modellierung“ versteht man die Beschreibung der menschlichen Kognition, das heißt im weitesten Sinne des menschlichen Denkens. Dies schließt die höhere Verarbeitung von Wahrnehmungsreizen und die Formung von Auslösereizen für die menschliche Aktorik ein. Die signalorientierte Vorverarbeitung von Sinnesreizen und die physiologischen Aspekte der Muskelaktionen sind nicht oder nur am Rande Gegenstand der Kognitiven Modellierung. In diesem Sinne müsste der Begriff „Kognitive Modellierung“ eigentlich durch „Modellierung der Kognition“ ersetzt werden. „Kognitive Modellierung“ ist als Bezeichnung jedoch inzwischen weit verbreitet. Die Modelle der menschlichen Kognition stützen sich auf kognitive Architekturen, welche die Systemelemente des Menschen, die seine Fähigkeit zur Kognition ausmachen, theoriegestützt verbinden. Kognitive Modellierung hilft dabei, menschliches Verhalten zu verstehen und damit in gewissen Grenzen vorhersagen zu können.

Der Nutzen kognitiver Modellierung in der Simulation besteht darin, den lebenden Menschen als intelligentes Element eines Systems durch einen virtuellen Menschen zu ersetzen:

- als „Sparringspartner“ für Ausbildung und Training
- als virtueller Gegner beim Durchspielen von Alternativen bei der Operationsplanung
- als ein Referenzbenutzer bei der Auslegung technischer Systeme

Die Simulation menschlichen Verhaltens hat verschiedene Ausbaustufen, die sich nach ihrem Anspruch und ihrer Vorhersagegenauigkeit unterscheiden. Drehbuchbasierte Verfahren bilden die einfachste Ausbaustufe. Sie arbeiten auf der Basis endli-

cher Automaten und halten eine meist eng beschränkte Anzahl vorgeplanter Reaktionsalternativen vor. Unvorhergesehene Reaktion gibt es dabei nicht.

Expertensysteme als nächst höhere Ausbaustufe benutzen spezifisches, formalisiertes Fachwissen und zeigen damit ein quasi-intelligentes Verhalten. Sie können das Verhalten von Gegnern im Rahmen bekannter Regeln vorwegnehmen und darauf reagieren.

Die höchste Ausbaustufe bezieht spezifische Eigenschaften des Menschen (*human factors*) ein: das Gedächtnis mit seiner Fähigkeit zu lernen, zu vergessen und zu verwechseln, die mentale Belastung und Beanspruchung, die Situationsbewusstheit des Menschen sowie die unterschiedlichen Reaktionszeiten auf Reize.

Während die drehbuchbasierten Verfahren eine hohe Prädiktionssicherheit erreichen, aber nur ein eng begrenztes Fallspektrum abdecken, sind die „Human Factors“-basierten Ansätze für eine große Mannigfaltigkeit von Szenarien anwendbar.

3. Modellierung und Simulation im militärischen Zusammenhang

Selbst die mächtigsten Verfahren der kognitiven Modellierung können die Möglichkeiten menschlicher Flexibilität und Kreativität nie im vollen Umfang simulieren. Kriegführung bedingt den Rückgriff auf flexible und kreative Denk- und Handlungsmuster, die gerade unter der einzigartigen und existenzbedrohlichen Situation des Krieges zu höchster Entfaltung gelangen. In früheren Zeiten war der einfache Soldat ein auf gemeinsame Standards gedrilltes, austauschbares Element einer Kriegsmaschinerie. Das flexible und kreative Element war den Generälen vorbehalten. Der Infanterist war einfach zu modellieren. Der General entzog sich jeder Modellierung.

Heute wird, zumindest in unserer Kultur in Deutschland, jeder Soldat als einzigartige und schöpferische Persönlichkeit angesehen. Er muss lagebewusst, eigenständig und selbstverantwortlich handeln und das Element der Überraschung nutzen.

So betrachtet entzogen sich in „unserer Welt“ die militärischen Kräfte der kognitiven Modellierung.

Setzt man aber die kognitive Modellierung für die Domäne der Kriegführung im Bewusstsein dieser Grenzen ein, kann sie erheblichen Nutzen bringen, ohne falsche Erwartungen zu wecken

4. Modellierung und Simulation mit kognitiven Architekturen

Kognitive Architekturen sind die Theorie auf der konkrete kognitive Modelle basieren und sie bilden gleichzeitig die Laufzeitumgebung für sie. Kognitive Architekturen bilden in der Regel die folgenden mentalen Leistungen ab (Newell 1990):

- Problemlösen und Entscheiden
- Lernen und Fachkenntnisse

- Fehler
- Aufmerksamkeit
- Varianzen im Verhalten
- Behaltfähigkeit und Informationsüberlastung

Aus diesen Leistungsaspekten werden wiederverwendbare kognitive Primitive gebildet, die in die Architektur exportiert werden und in ihr zusammenwirken. Solche Primitiven erlauben effektives und effizientes Modellieren.

Im Folgenden werden konkrete Softwarewerkzeuge für die kognitive Modellierung und Simulation vorgestellt:

4.1 SOAR

SOAR (Laird et al. 1987) ist eine kognitive Architektur, deren Schwerpunkt auf der Wissensverarbeitung liegt. Die Modellierung von Wahrnehmung und Begrenzungen des Arbeitsgedächtnisses können im Kernsystem von SOAR nicht behandelt werden. Mehrere „third party“-Module versuchen SOAR um entsprechende Komponenten zu erweitern. Standards haben sich hier noch nicht etabliert. In SOAR wird Wissen in Form eines Produktionssystems modelliert. Die gegenwärtige Situation wird als Zustand repräsentiert. Operatoren überführen den Zustand in einen Folgezustand, der dem Zielzustand möglichst ähnlich ist. Operatoren werden aufgrund von Regeln ausgewählt. Operatoren und Regeln werden als Produktionen repräsentiert. Produktionen bestehen aus einem Bedingungsteil und einem Aktionsteil. Wenn die Bedingung im aktuellen Zustand zutrifft, kann die Aktion ausgeführt werden. Entsprechend steht die Abkürzung SOAR für die wesentlichen Elemente dieses Ansatzes: „state“, „operator“, „action“, and „result“. Von einem Ausgangszustand werden mit den Regeln geeignete Operatoren ausgewählt, um zu einem Zielzustand zu gelangen. Teilzielbildung wird durch den *impasse*-Mechanismus realisiert: Ist in einem Zustand keine Regel anwendbar, weil z.B. Wissen über die aktuelle Situation fehlt, wird in einem rekursiven Verfahren ein Unterzustandsraum gebildet, in dem das Problem elaboriert wird, bis die Voraussetzungen gegeben sind, dass auf höherer Ebene Regeln ausgewählt werden können. Die Anwendung von Produktionen zur Operatorauswahl und der *impasse*-Mechanismus bilden zielgerichtetes Verhalten ab. SOAR-Modelle können lernen, indem Abkürzungswege, um von einem Ausgangszustand zu einem Zustand zu kommen, in Form neuer Produktionen generiert werden.

4.2 ACT-R/PM

Im Gegensatz zu SOAR, das aus der KI-Forschung stammt, ist ACT eine Theorie der Kognitionspsychologie (Anderson & Lebiere 1998). Die Grundlage bildet wieder der Produktionssystemansatz. Der Kern der Theorie ist jedoch eine psychologisch fundierte Repräsentation des Arbeitsgedächtnisses. Demzufolge werden empirisch abgeleitete Annahmen zum Vergessen und Verwechseln von mental repräsentierten Objekten getroffen. Ebenso werden unterschiedliche Strategien zur Informationsverarbeitung durch Parameter der Produktionen und der Elemente des Arbeitsgedächtnisses gesteuert. Auch in ACT wird Lernen durch fortwährende Anpassung von Parametern und Zusammenfassung von Produktionen modelliert. Zielgerichtetes Verhalten wird durch besondere Zielhierarchien (bis ACT-R 5 als Architekturkomponente

„goal stack“, seit ACT-R 6 als selbst zu verwaltende Strukturen im Arbeitsgedächtnis) realisiert. ACT-R/PM ist eine Weiterentwicklung dieser ACT-Theorie, zu der es auch eine auf CommonLisp aufbauende Implementierungsumgebung gibt. In ACT-R/PM gibt es Module, mit denen der kognitive Kernprozessor mit einer simulierten Aufgabenumgebung interagieren kann. Hier sind insbesondere auch physische und ergonomische Eigenschaften von Wahrnehmung und Handlung des Menschen berücksichtigt (bspw. Fitt's Law, das die zeitlichen Beschränkungen von gezielten Handbewegungen erfasst). Die Module zu Wahrnehmung (außer dem visuellen Subsystem) und Handlung basieren auf der EPIC-Architektur von Kieras & Meyer (1997).

4.3 microSAINT, IMPRINT

Diese beiden Modellierungswerkzeuge basieren auf der Simulation diskreter Ereignisse. MicroSAINT (Bloechle & Schunk 2003) entstammt anwendungsorientierten Zielstellungen z.B. bei der Simulation von logistischen Prozessen. IMPRINT ist eine Spezialisierung dieses Werkzeuges für die Simulation von *Human Factors* Fragestellungen (Mitchell 2000). In IMPRINT wird der Modellierungsansatz von microSAINT auf Aufgabennetzwerke übertragen. Eine Aufgabe wird in voneinander abhängige Teilaufgaben zerlegt, zu deren Bearbeitung begrenzte kognitive Ressourcen erforderlich sind. Über spezielle Formalismen wird regelgeleitetes Verhalten abgebildet. Verglichen mit SOAR und ACT-R/PM bewegt sich die Modellierung auf einem hohen Abstraktionslevel. Entsprechend werden keine detaillierten Aussagen über kognitive Prozesse möglich. Deshalb gibt es inzwischen Bestrebungen, beide Ansätze zu verbinden (Craig et al. 2002, Lebiere et al. 2002): Ein Aufgabennetzwerk wird an bestimmten kritischen Stellen mit ACT-R/PM „in die Tiefe“ simuliert. Dazu wird am Beginn solch einer Detailsimulation als Teil eines übergeordneten Aufgaben-Netzwerkes ein ACT-R/PM-Modell mit dem gegenwärtigen mentalen Zustand geladen, dann einige Sekunden in hoher Granularität (z.B. inkl. Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses) simuliert bis das Detailmodell eine bestimmte Aktion auslöst, die wiederum an die übergeordnete Aufgaben-Netzwerk Simulation zurückgespeist wird. Die Detailsimulation mit dem ACT-R/PM-Modell wird dann beendet und die übergeordnete Simulation mit dem Aufgabennetzwerk geht weiter.

4.4 GOMS, APEX

GOMS (Card et al. 1983) steht für „goals“, „operators“, „methods“, and „selection rules“. Die Familie der GOMS-Modellierungswerkzeuge, zu denen auch APEX gehört, basiert auf einer Modellierung der Ablaufstruktur der Aufgabe. Dazu wird die Methode der hierarchischen Aufgabenanalyse herangezogen. Die Aufgabe wird dabei rekursiv in Teilaufgaben zerlegt, um so die Gesamtaufgabe einer Analyse zugänglich zu machen. Aufgaben auf allen Ebenen werden durch Ziele („goals“), die zur Erledigung der Aufgabe zu erfüllen sind, charakterisiert. Methoden („methods“) werden benutzt, um ein gegebenes Ziel zu erreichen. Mehrere Methoden, die alle zum selben Ziel führen, können parallel existieren. Zwischen solchen alternativen Methoden wird durch Auswahlregeln („selection rules“) ausgewählt. Methoden werden operationalisiert durch die Verkettung von basalen Operatoren („operators“). Operatoren werden experimentell ermittelten Katalogen entnommen. Die Simulation der atomaren Aktionen, die durch Operatoren repräsentiert werden, ermöglicht auf der Basis eines hinterlegten kognitiven Modells wie MHP (Model Human Processor)

die Vorhersage der Bedienbarkeit und Erlernbarkeit der Aufgabe (Gray et al. 1993). APEX (Freed 1998, Freed & Remington 2000) als spezielles Human Factors-Werkzeug beinhaltet ein räumliches Modell der Aufgabenumgebung, und die Interaktion mit Elementen der Aufgabenumgebung wird auf der Basis von GOMS detailliert simuliert.

Alle diese Systeme stellen kognitive Architekturen bereit. Sie beinhalten oder basieren auf einer jeweiligen Theorie kognitiver Vorgänge. Gemeinsam ist ihnen, dass Informationsverarbeitung beim Menschen, also kognitive Vorgänge, mit regelbasierten Formalismen erfasst werden. Die jeweilige Theorie und das dazugehörige Modellierungswerkzeug setzen aber andere Schwerpunkte darin, welche menschlichen Eigenschaften modelliert werden. Zusammenfassend kann man aber feststellen, dass kognitionswissenschaftliches Know-How durch die Benutzung eines solchen Werkzeuges erschlossen wird. Benutzt man beispielsweise ACT-R/PM zur Repräsentation menschlichen Verhaltens, beinhalten die Simulationen inhärent eine Begrenzung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Der Modellierer muss die konkrete Theorie in ihren Details nicht kennen, um einen Nutzen in den eigenen Simulationen daraus zu ziehen.

Die Kapselung kognitionswissenschaftlichen Know Hows in einigen wenigen Werkzeugen zur kognitiven Modellierung bringt aber mit sich, dass ein hoher Integrationsaufwand erforderlich ist, wenn solch eine Simulation mit vorhandenen externen Prozessen interagieren soll (Best & Lebiere 2006). Der Einsatz in „real world“-Umgebungen ist also problematisch. Der Charakter dieser Werkzeuge ist auch immer noch eher der eines Forschungswerkzeuges. Die Benutzung im Sinne der Modellierung kognitiver Prozesse und der anwendungsorientierten Nutzung erfordert viel Detailwissen über die Werkzeuge, aber auch über die theoretischen Grundlagen kognitiver Modellierung bzw. der zu Grunde liegenden Theorie der jeweiligen kognitiven Architektur. Deshalb ist gegenwärtig eine wichtige Richtung der Weiterentwicklung kognitiver Architekturen die Benutzbarkeit für anwendungsorientierte ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen zu verbessern.

Vergleicht man den Einsatz von universellen Programmiersprachen (z.B. Java, C++) mit diesen kognitiven Architekturen, wird aber deutlich, dass eine deutliche Ersparnis und vor allem eine höhere Ausdrucksfähigkeit und eine höhere Komplexität simulierten menschlichen Verhaltens bei vertretbarem Programmieraufwand zu erwarten ist. Insbesondere durch die Verfügbarkeit von Werkzeugen zur automatischen und semi-automatischen Transformation von leicht zu erstellenden High-Level Modellen (z.B. mit GOMS) zu detaillierten Low-Level Modellen (z.B. in ACT-R/PM) sinkt der erforderliche Programmieraufwand bei gleichzeitig hoher Detailliertheit der resultierenden Simulationsmodelle (für einen Überblick dieser Ansätze: Ritter et al. 2006).

5. Anwendungen im militärischen Training

Die online-Simulation komplexen menschlichen Verhaltens wird bereits in einigen Forschungsprototypen für das Training von Soldaten eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Simulation eines MOUT-Szenarios (*military operations in urban terrain*, Hill Jr. et al. 2003). Der Simulator (Joint Fires and Effects Trainer System – JFETS) des Center for Virtual Reality and Computer Simulation Research am Institute for Creative Technologies stellt eine Umgebung mit eigenständig simulierten Akteuren dar.

Die simulierten Akteure zeigen komplexes Verhalten. Die Verhaltensmuster werden durch einen vereinfachten SOAR-Kern erzeugt. Die simulierten Akteure reagieren auf Ereignisse in ihrer simulierten Umwelt, die sie mit unterschiedlichen Modalitäten wahrnehmen können. Sie nehmen beispielsweise sich nähernde Hubschrauber zuerst akustisch, dann erst visuell wahr. Der trainierende Soldat kann auch über Spracheingaben mit den simulierten Akteuren der Aufgabenumgebung interagieren.



Abbildung 1: Joint Fires and Effects Trainer System

Der Zweck der Trainingssimulation ist, de-eskalierendes Verhalten in MOUT-Operationen zu üben. Durch die Modellierung komplexen Verhaltens in den SOAR-Agenten kann die Simulation deutlich interaktivere – im Sinne anspruchsvoller Situationen – Szenarien zum Training anbieten.

6. Anwendungen in „Computer Generated Forces“

Für die Simulation militärischer Abläufe werden Kräfte und Mittel mit Computern simuliert („synthetic forces“ bzw. „computer generated forces“). Dazu werden die Eigenschaften der physikalischen Welt in der Modellierung berücksichtigt. Um dies zu erreichen, werden die Umwelt und alle relevanten Objekte der simulierten Welt mit ihren Eigenschaften modelliert. Das bezieht sich z.B. auf Beschränkungen der physikalischen Objekte wie maximale Geschwindigkeiten und realistische Beschleunigungen von berücksichtigten Flugzeugmodellen. Weiterhin werden alle denkbaren Aktionen, die mit den Objekten möglich sind, erfasst. Hier müssen auch Vorbedingungen, unter denen Aktionen überhaupt erst möglich sind, sowie ihre Auswirkungen auf die virtuelle Welt modelliert werden.

Weiterhin werden die Eigenschaften bezüglich des menschlichen Verhaltens und der individuellen Fähigkeiten erfasst. Im Kontext Computer Generated Forces wird das „Human Behavior Representation“ genannt. Im Rahmen der Anwendung in *Computer Generated Forces* muss in der Modellierung erfasst werden, wo, wann, wie - und wenn das Teil der Fragestellung ist auch warum – eine Aktion durch einen simulierten Menschen im Ablauf des Simulationsszenarios initiiert wird. Entsprechend müssen Seiteneffekte aufgenommen werden. Das bezieht sich unter den Bedingungen der netzbasierten Operationsführung vor allem auf den Zugriff und die Nutzung von relevanten Informationen. Das ist ein Seiteneffekt in dem Sinn, dass eine einmal erfasste Information im weiteren Verlauf einer Handlung fortwährend genutzt werden

kann und das Entscheidungsverhalten des simulierten Menschen ändert. Entsprechend sind besonders wichtige Aktionen, die für „behavior representation“ zu modellieren sind Kommunikation, Kooperation und Koordination, also der Informationsaustausch zwischen Menschen.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, Verhalten zu repräsentieren und in Simulationen abzurufen. Weit verbreitet ist die Anwendung von Zustandsautomaten. Natürlich lässt sich damit keine große Bandbreite von alternativem Verhalten und Reaktionen implementieren. Um eine angemessene Verhaltenskomplexität zu erreichen können auch Modelle auf der Basis von kognitiven Architekturen benutzt werden.

Die Modelle der physikalischen Welt und das repräsentierte menschliche Verhalten werden auf einer Simulationsplattform „deployed“. Ein Beispiel für solch eine Plattform ist die Architektur „Modular Semi-Automated Forces“ (ModSAF). Sie wird in den USA benutzt, um umfangreiche, verteilte Simulationsmanöver durchzuführen. MoDSAF basiert auf dem DIS-Format (*distributed interactive simulation*), um Informationen auszutauschen.

TacAir-SOAR ist ein kognitives Modell in SOAR, das an ModSAF angekoppelt wird. TacAir-SOAR modelliert taktische Koordination von Kampfpiloten. Es wurde benutzt, um flexible Abläufe beim Luftkampf in größeren Simulationen unter Einbeziehung von ISR-Meldungen und -Aufträgen einzubinden. TacAir-SOAR wurde von einer Ausgründung (SOAR Technology) der University of Michigan in Ann Arbor entwickelt. SOF-SOAR ist ein weiteres System von SOAR Technology, mit dem spezielle Operationen, bzw. dort der Teilbereich „forward air controller“ modelliert wird. Auch dieses System basiert auf simulierten Akteuren, deren Verhalten mit SOAR-Modellen abgebildet wird.

Wenn bei Computer Generated Forces *Human Behavior Representation* berücksichtigt wurde, können folgende Fragen beantwortet werden: Ist entscheidungsrelevante Information in einer bestimmten Situation vorhanden (d.h. potenziell zugreifbar oder aber aus dem Arbeitsgedächtnis erinnerbar)? Wie funktionieren Prozeduren zu Kooperation und Koordination in der netzbasierten Operationsführung z.B. im Verbund Nachrichtengewinnung und Aufklärung? Wie können realistische Reaktionen der Bevölkerung in MOUT-Szenarien eingebunden werden? Wie verhalten sich Individuen in Gruppen und bei Zusammenrottungen, wie muss mit ihnen unter diesen Bedingungen interagiert werden? Wie ist die *Situation Awareness* bei einem bestimmten Individuum in einer bestimmten Situation ausgeprägt, bzw. können dessen Aufgaben unter diesen Bedingungen erfüllt werden? Wie wirken sich ggf. andere „Human Factors“ auf Entscheidungen aus?

7. Verhaltensmodellierung in Computerspielen

First Person Shooter Computerspiele eignen sich für das Training von Infanteristen. Die Situation muss herausfordernd sein (Zyda 2005). Insbesondere das Verhalten der Gegner muss herausfordernd und komplex sein. Wir nehmen an, dass das Gegnerverhalten dann als komplex und herausfordernd wahrgenommen wird, wenn folgende Eigenschaften auf das Verhalten der simulierten Gegner zutreffen: variantenreiches, zielgerichtetes und planbasiertes Handeln, Flexibilität, realistische Weltwahrnehmung der Gegner, Fähigkeit der Gegner zu entscheiden, wissensbasiert zu han-

deln, Objekte und Positionen zu erinnern, Antizipation des Verhaltens anderer und Kooperation mit anderen.

Aus Erfahrungen mit der Programmierung kognitiver Architekturen und aus den gewünschten Eigenschaften komplexen Verhaltens, leiten wir folgende Minimalanforderungen an AI-Engines für First Person Shooter Computerspiele zum militärischen Training ab: Probabilistische Komponente: Die Variation von Verhalten muss sich durch eine Zufallskomponente steuern lassen. Visuelle und akustische Wahrnehmung begrenzt anhand des Weltmodells. Regelbasiertes Verhalten: Die Taktik muss mit Triggern abgerufen werden können. Wissensrepräsentation: Abhängig von den Wahrnehmungen muss eine Repräsentation der Umwelt aufgebaut werden, die anhand von Wissen über Umwelt und Gegner aktualisiert werden muss.

Van Lent & Laird (1999) haben eine Architektur für solche AI-Engines entworfen. Danach muss die Verhaltensrepräsentation eine hierarchische Struktur aus übergeordneten Zielen (bspw. „attack“), Taktiken (bspw. „camp“) und Verhalten (bspw. „find hidden location, select weapon, wait for target, shoot target“) beinhalten. In diesem Architekturdesign besteht die Wissensbasis nicht aus spezifischen Zielen, Taktiken und Verhalten für das konkrete Spiel, sondern ist allgemeiner anwendbar, so dass es sich in nahezu allen Spielen eines Genres einsetzen lässt.

Van Lent & Laird haben solch eine externe AI-Engine an Quake II und Descent 3 angeschlossen. Dazu haben sie das API der Spiel-Engine mit der kognitiven Architektur SOAR verbunden. Quake-Bot (Laird 2001) ist ein Modell in SOAR, das als Spieler in der Quake-Welt agiert. Eine besondere Eigenschaft dieses simulierten Spielers ist seine Fähigkeit gegnerische Aktionen aus zu antizipieren, indem die eigenen Fähigkeiten und Verhaltensregeln auf beobachtete Opponenten übertragen werden (Laird 2001).

8. Ausblick

Aufgrund der neuen Anforderungen aus der Transformation der Bundeswehr gibt es einen Bedarf für Menschmodelle auf der Basis kognitiver Architekturen. Die komplexen Verbände für NetOpFü müssen mit aufgabenorientierten und wissensbasierten Modellen im Rahmen der experimentellen Überprüfung simulativ analysiert und bewertet werden. Um solche Menschmodelle im Rahmen von Simulationsexperimenten einbringen zu können, erweitern wir gegenwärtig SOAR um eine HLA²-Schnittstelle.

Die besondere Situation bei Operationen zu Stabilisierung und Unterstützung bedingen deeskalierendes Verhalten. Besonders in urbanen Einsatzszenarien gibt es ein Spannungsfeld zwischen Wahrnehmung der Bedrohungslage und deeskalierendem Handeln. Deshalb sind Menschmodelle, die soziologische und motivationale Faktoren mit einbeziehen eine wichtige Erweiterung für Trainingsumgebungen. Entsprechend streben wir eine Vereinheitlichung der kognitiven Architekturen aus diesen Bereichen an.

Die komplexen Benutzungsschnittstellen, mit denen der Soldat ebenen- und rollengerecht Zugriff auf Informations- und Kommunikationsnetze erhält, brauchen intelli-

² High Level Architecture: SISO-Standard für verteilte Simulation

gente Unterstützungssysteme auf der Basis derselben Modelle, die im Training eingesetzt werden. Wir arbeiten daher darauf hin, kognitive Architekturen als integrale Softwarekomponente in NetOpFü-Systeme zu integrieren.

9. Literatur

- Anderson, J. R., Lebiere, C. (1998). *Atomic Components of Thought*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Best, B. J., & Lebiere, C. (2006). Cognitive Agents Interacting in real and Virtual Worlds. In R. Sun (Ed.), *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation* (pp. 186-218). Cambridge: University Press.
- Bloechle, W. K. & Schunk, D. (2003). MICRO SAINT SHARP SIMULATION SOFTWARE. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S.182-187.
- BMVg (2004). *Grundzüge der Konzeption der Bundeswehr*. Verfügbar unter http://www.bundeswehr.de/portal/PA_1_0_LT/PortalFiles/C1256EF40036B05B/W2652FFY414INFODE/broschuere_kdb.pdf?yw_repository=youatweb (07.07.2006).
- Card, S.K., Moran, T.P., & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Craig, K., Doyal, J., Brett, B., Lebiere, C., Biefeld, E., & Martin, E. (2002). Development of a hybrid model of tactical fighter pilot behavior using IMPRINT task network model and ACT-R. *Proceedings of the Eleventh Conference on Computer Generated Forces and Behavior Representation*.
- Freed, M. (1998). *Simulating Human Performance in Complex, Dynamic Environments*. Doctoral Dissertation, Northwestern University.
- Freed, M. & Remington, R. (2000). GOMS, GOMS+ and PDL. In *Working Notes of the AAAI Fall Symposium on Simulating Human Agents*. Falmouth, MA.
- Gray, W. D., John, B. E., & Atwood, M. E. (1993). Project Ernestine: A validation of GOMS for prediction and explanation of real-world task performance. *Human-Computer Interaction*, 8, 237–209.
- Hill Jr., R. W., Gratch, J., Marsella, S., Rickel, J., Swartout, W., Traum, D. (2003). Virtual Humans in the Mission Rehearsal Exercise System. *Künstliche Intelligenz*, 4/03, 5-10.
- Kieras, D. E. & Meyer, D. E. (1997). An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 12 (4), 391-438.
- Laird, J. E. (2001). It knows what you're going to do: Adding anticipation to a Quakebot. In *Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents 2001* (pp. 385-392). New York, NY: ACM Press. Verfügbar unter <http://ai.eecs.umich.edu/people/laird/papers/Agents01.pdf> (07.07.2006).

- Laird, J. E., Newell, A., Rosenbloom, P. S. (1987). SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33 1-64.
- Lebiere, C., Biefeld, E., Archer, R., Archer, S., Allender, L., & Kelley, T. (2002). IMPRINT/ACT-R: Integration of a task network modeling architecture with a cognitive architecture and its application to human error modeling. *Proceedings of the Advanced Technologies Simulation Conference*.
- van Lent, M. & Laird, J. E. (1999). Developing an Artificial Intelligence Engine. In *Proceedings of the Game Developers' Conference*, 577-588. Verfügbar unter <http://ai.eecs.umich.edu/people/laird/papers/GDC99.pdf> (07.07.2006).
- Mitchell, D. K. (2000). *Mental Workload and ARL Workload Modeling Tools*. (ARL-TN-161, April 2000). Army Research Laboratory. Verfügbar unter <http://www.arl.army.mil/ARL-Directorates/HRED/imb/imprint/ARL-TN-161.pdf> (07.07.2006).
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ritter, F. E., Haynes, S. R., Cohen, M., Howes, A., John, B., Best, B. J., Lebiere, C., Jones, R. M., Crossman, J., Lewis, R. L., St. Amant, R., McBride, S. P., Urbas, L., Leuchter, S., & Vera, A. (2006). High-level behavior representation languages revisited. In: *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling* (pp. 404-407). Trieste, Italy.
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *IEEE Computer*, 38(9), 25-32.

Kognitive Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen

JERONIMO DZAACK, MARCUS HEINATH & JÜRGEN KIEFER

TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Graduiertenkolleg prometei

Schlüsselwörter: Kognitive Modellierung, Kognitive Architekturen, Dynamische Systeme

Zusammenfassung

Im Workshop „Kognitive Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen“ wurde ein Einblick in die kognitive Modellbildung in dynamischen Aufgabenumgebungen gegeben. Der Workshop fand im Rahmen der jährlichen Frühjahrsschule des Zentrums-Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS) der Technischen Universität Berlin statt. Im ersten, theoretischen Teil lag der Fokus auf der Vermittlung eines Grundverständnisses zur Erstellung kognitiver Modelle, am Beispiel der kognitiven Architektur ACT-R. Vor- und Nachteile dieser analytisch-objektiven Methode wurden aufgezeigt und an einem Beispiel aus der Prozesstechnik illustriert. Im zweiten, praktischen Teil des Workshops erfolgte die Arbeit in Kleingruppen. Hierbei wurden Fragestellungen bezüglich der Beschreibung kognitiver Prozesse auf höherer Abstraktionsebene im Rahmen der Modellbildung, der Berücksichtigung von individuellem Benutzerverhalten bei der Erstellung von Modellen und Möglichkeiten der Modellauswertung und -analyse diskutiert und erste Lösungsansätze erarbeitet.

1. Einführung

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Informationstechnologie geht mit einem grundlegenden Wandel der Arbeitswelt einher: Im Bereich komplexer dynamischer Mensch-Maschine-Systeme (MMS) werden Steuerungsaufgaben zunehmend von automatisiert arbeitenden Computersystemen realisiert. Eine Veränderung der Interaktionscharakteristika zwischen Mensch und Maschine ist die Folge. Im Tätigkeitsspektrum des Menschen zeigt sich dies in einem Zuwachs der Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten, die vornehmlich durch visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung, sowie der Koordination von Aufgaben charakterisiert sind. Daraus er-

geben sich erhöhte Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, denen bereits in frühen Phasen der Systementwicklung Rechnung getragen werden sollte. Die kognitive Modellierung stellt einen viel versprechenden Ansatz dar diese Anforderungen umsetzen zu können.

2. Kognitive Modellierung

Kognitive Architekturen bilden ein integratives Rahmenwerk kognitionspsychologischen Theorien, in Form eines Softwaresystems, zur Modellierung und anschließenden Simulation des menschlichen Verhaltens. Die bereitgestellten Strukturen und Mechanismen kognitiver Architekturen setzen eine Unabhängigkeit von speziellen Aufgaben und Domänen voraus (Howes & Young 1997) und simulieren das menschliche Verhalten auf menschliche Art und Weise (Newell 1990). Kognitive Modellierung bedeutet 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). In einem kognitiven Modell wird die abstrakte kognitive Architektur in einer Instanz spezialisiert und angewandt.

2.1 Beschreibungsebenen

In der Literatur wird zwischen High-Level und Low-Level Architekturen für die kognitive Modellierung unterschieden (Salvucci & Lee 2003).

High-Level Architekturen, wie bspw. *GOMS* (Card, Moran & Newell 1983) und seine Derivate - für einen Vergleich siehe John & Kieras (1996), beschreiben das Verhalten in einer „groben“ zeitlichen Auflösung und definieren Bedienhandlungen (z.B. Mausbewegung, Drücken eines Kopfes) als vorher festgelegte Sequenzen menschlichen Verhaltens. Für die Untersuchung von Handlungsabfolgen und den damit verbunden Fehlbedienungen und Schwierigkeiten in der Ressourcenallokation sind High-Level Architekturen besonders geeignet. Komplexere Aspekte der Systembedienung, wie Entscheiden, Signal-Entdeckung und Widererkennung können mit diesen Architekturen nicht abgebildet werden.

Low-Level Architekturen, wie bspw. *EPIC* (Meyer & Kieras 1997), *ACT-R* (Anderson, Bothell, Byrne, Douglass, Lebiere, & Qin 2004) und *SOAR* (Ritter, Shadbolt, Elliman, Young, Gobet & Baxter 2003) beschreiben menschliches Verhalten auf einer „atomaren Ebene“ mit kognitiven Schritten im Zeitbereich von 50 ms. Sie erlauben eine größere Präzision als High-Level Architekturen und bieten einen tieferen Blick in die kognitiven Prozesse, bezüglich motorischer Bewegungen, Informationsaufnahme und Gedächtnisabrufe. Eine Vielzahl von Low-Level Architekturen nutzt Produktionssysteme zur Abbildung der Funktionsweise des kognitiven Apparates. Die Formalisierung von Wissen in Form potentiell unabhängiger Produktionsregeln ermöglicht ein flexibleres Reagieren auf Änderungen der Systemumgebung und eine Unterbrechbarkeit von Interaktionsschritten, als die sequenzorientierten Modelle auf High-Level Ebene.

2.2 Potentiale und Grenzen

In der Systementwicklung kann die Kognitive Modellierung als eine Erweiterung der klassischen Methoden zur Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit angesehen werden. Sie ermöglicht den automatischen Einsatz von wissenschaftlich begründeten Theorien für die Hypothesenprüfung und –generierung (Bortz 1984). Detaillierte Vorhersagen bzgl. quantitativer Parameter wie Bearbeitungszeiten, Fehlern, Gedächtnisabrufe und Handlungssequenzen sind, auch ohne real existierende Prototypen, möglich. Aufgrund der formalen Beschreibungsebene der Modelle sind Simulationen einfach wiederhol- und überprüfbar. Hochkomplexe Paradigmen der Psychologie (z.B. Zeitschätzung, Ressourcenallokation bei Mehrfachaufgaben, Handeln in dynamischen-komplexen Systemen), die sich heute oft nur unter großem Aufwand mit den klassischen experimentellen Methoden überprüfen lassen, sind mit kognitiven Modellen einfach experimentell überprüfbar. Die Modellierung des Benutzerverhaltens und die Analyse der vom Modell zurückgegebenen Simulationsergebnisse stellen damit eine Alternative dar, um Aussagen bezüglich Gestaltungsfragen treffen zu können.

Heutige Benutzermodelle sind meist idealtypisch und berücksichtigen kaum Fehlleistungen und interindividuelle Unterschiede im Benutzerverhalten. Menschliche Eigenschaften wie Emotionen, Motivation, Müdigkeit werden in der Modellbildung „noch“ vernachlässigt. Eine von Urbas, Dubrowsky, Dzaack & Heinath (2005) durchgeführte Interviewstudie untermauert das in der Literatur vorherrschende Bild: Das Potential der kognitiven Modellierung zur Bewertung von MMS ist in Industrie und Forschung zwar bekannt, jedoch wird diese nur vereinzelt eingesetzt. Die mangelnde Werkzeugunterstützung in der Modellbildung und in der Analyse der Simulationsergebnisse bildet dabei zwei zentralen Ursachen für die fehlende Akzeptanz der Methode.

2.3 Beispiel zur kognitiven Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine Systemen

Als Beispiel für den Workshop wurde eine komplexe dynamische Aufgabenumgebung gewählt. Diese illustriert zum einen die gewählten Fragestellungen und den zum anderen den aktuellen Stand der Entwicklung von kognitiven Modellen in der Forschung mit komplexen Systemen. Die Bedienungsaufgabe des Modells und des Menschen besteht darin, den Flüssigkeitspegel der Destillationskolonne (siehe Abbildung 1) zwischen den zwei Pegelgrenzen (weiße Dreiecke) zu halten, wobei die Heizung angeschaltet sein soll.

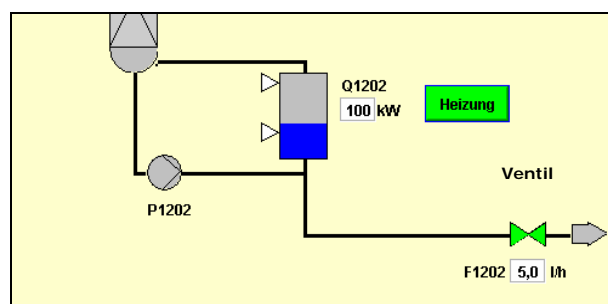


Abbildung 1: Destillationskolonne

Der Zufluss zum Behälter erfolgt über die Pumpe (P1202) und kann extern nicht beeinflusst werden. Zur Pegelregulation kann Flüssigkeit aus dem Behälter abgelassen bzw. durch die Heizung verdampft werden. Dies erfolgt durch Öffnen des Ventils (F1202) oder durch Anschalten der Heizung (Q1202). Ein geöffnetes Ventil wird in der Simulation grün, ein geschlossenes Ventil rot dargestellt. Ist Heizung aktiviert, erscheint diese grün. Eine nicht aktivierte Heizung wird grau abgebildet.

Aufgrund der höheren Präzision und der Möglichkeit komplexe Aspekte der menschlichen Kognition abbilden zu können, wurde die Low-Level Architektur ACT-R zur Modellierung des Benutzerverhalten auf Basis einer analytischen Analyse der Systembedienung angewandt. Dazu stehen verschiedene Modelle zur Verfügung, die in dem Workshop vorgestellt wurden.

3. Workshop

Der praktische Teil des Workshops erfolgte in Kleingruppenarbeit. Hierbei wurden die nachfolgenden Fragestellungen zur Erstellung, Variation und Analyse von kognitiven Modellen bearbeitet. Abschließend erfolgte eine Präsentation und kritische Diskussion der Ergebnisse.

3.1 Modellbildung: Beschreibung von kognitiven Prozessen auf höherer Abstraktionsebene

Der erste Teil des Workshops legt den Fokus auf die Beschreibung kognitiver Modelle auf höherem Abstraktionsniveau. Eine große Herausforderung der kognitiven Modellbildung besteht in der Transformation der Modellen aus der Aufgabenanalyse (High-Level Notation) in eine ausführbare Low-Level Notationsform der jeweiligen kognitiven Architektur. Dieser Transformationsprozess erfordert vom Modellierer umfangreiches Programmierwissen über die Strukturen und Mechanismen der kognitiven Architektur und psychologische Kenntnisse über die Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen. Die kognitive Modellbildung soll dahingehend vereinfacht werden, dass dem Modellierer Bausteine, in Form parametrisierbarer Aktivitätsmustern, zur Verfügung gestellt werden, die eine Modellbildung auf höherem Abstraktionsniveau ermöglichen. Eine Aktivität beschreibt dabei die Ausführung einer (Teil-) Aufgaben durch einen Nutzer in einem bestimmten Kontext unter Anwendung perzeptiver, kognitiver und motorischer Ressourcen (Boy 1998). Ein Aktivitätsmuster (AM) stellt hierbei ein bereits auf Low-Level Ebene „vordefinierte“ Schemata zur Bewältigung einer konkreten Aufgaben dar. In der Modellbildung muss dieses dann „nur“ noch an den jeweiligen Aufgabenkontext angepasst werden. Das Prinzip der AM kann als Übertragung des Design-Pattern Ansatzes aus der Softwareentwicklung (Gamma, Helm, Johnson & Vlissides 1995) auf den Bereich der kognitiven Modellierung angesehen werden. Durch setzen von Relationen zwischen AM können Interaktionsabläufe auf höherem Abstraktionsniveau modelliert werden.

3.1.1 Aufgabe

Aufbauend auf den Beschreibungen zur Destillationskolonne sollte zunächst die Bedienungsaufgabe zur Pegelsteuerung in mögliche (Teil-)Aktivitäten zerlegt werden. Die Beschreibung identifizierbarer Aktivitäten beinhaltet dabei Angaben zum Zeitrah-

men und zur Intention der Aktivität. Anhand dieser erarbeiteten Spezifikationen, sollte dann die Trennschärfe und der Auflösungsgrad, d.h. befinden sich alle Aktivitäten auf dem gleichen Beschreibungslevel, der identifizierten Aktivitäten diskutiert werden.

3.1.2 Ergebnisse

Als Ergebnis des Workshops konnten drei „elementare“ Aktivitäten (*Ausführen, Ablesen, Vergleichen*) und drei „zusammengesetzte“ Aktivitäten (*Scannen, Beobachten, Regulieren*) bei der Bedienung der Destillationskolonne identifiziert und spezifiziert werden. Tabelle 1 zeigt die Aktivitäten und deren Spezifikation. Anzumerken ist hierbei, dass die Aktivität Regulieren, bedingt durch die Einfachheit der Aufgabenstellung im vorliegenden Beispiel, die gesamte Pegelregulationsaufgabe beschreibt. In der Nachbetrachtung weisen die im Workshop identifizierten Aktivitäten, bezüglich der Intention und des Zeitrahmens, weitgehende Übereinstimmung mit den von Hollnagel (1998, S. 246) und Köhler (2001) spezifizierten kognitiven Aktivitäten auf. Zur Erhöhung der Trennschärfe und Verbesserung der Anwendbarkeit der Aktivitätsmuster wurden in der Gruppen verschiedene Kriterien für eine „gute“ Musterbeschreibung erarbeitet: (1) aussagekräftiger Namen zur Wiedererkennung und Kommunikation, (2) illustratives Anwendungsbeispiel, (3) Auflistung möglicher Vor- und Nachteile der Anwendung, (4) Relationen zu anderen Mustern, (5) Möglichkeiten der Generalisierung bzw. Verfeinerung sowie (6) Kontextabhängigkeit des Musters.

Tabelle 1: Im Workshop identifizierte Aktivitäten zur Bedienung der Destillationskolonne

Aktivität	Intention / Zeitrahmen
<i>Ausführen</i> [Element]	Ausführen einer motorischen Handlung bezogen auf ein Element, z.B. Drücken des Heizungsbuttons
<i>Ablesen</i> [Element (Wert)]	Einmaliges Ablesen des Wertes eines Elementes, z.B. Lesen des Zustands der Heizung (an oder aus)
<i>Vergleichen</i> {Wert_1; ...; Wert_n}	Relationsvergleich von Werten (1..n) auf quantitativer oder qualitativer Ebene
<i>Scannen</i> {Ablesen_1; ... ; Ablesen_n}	Verschaffen eines Gesamtüberblicks über ein System durch schnelles Ablesen der Werte der Elemente (1..n)
<i>Beobachten</i> {Ablesen_1(t); ... ; Ablesen_n(t)}	Beobachtung des Werteverlauf von Parametern ein oder mehrerer Elemente (1..n) über einen Zeitraum (t)
<i>Regulieren</i> {(Ablesen Beobachten) → Vergleichen → Ausführen}	Ist-Soll-Wert Regelung, z.B. Pegelregulation beinhaltet den Zyklus: Pegelstand ablesen oder beobachten, Ist-Wert mit Soll-Wert vergleichen und notwendige Handlung (Drücken der Heizung und/oder des Ventils bzw. Warten) einleiten

3.2 Modellvariation: Berücksichtigung von individuellem Benutzerverhalten

Im zweiten Teil des Workshops wird die Frage aufgeworfen, welche Rolle der Betrachtung von individuellem Benutzerverhalten zukommt. Im vergangenen Jahrhundert waren personenspezifische Charakteristika hauptsächlich Gegenstand der Differentiellen Psychologie (vgl. Amelang & Bartussek 2001). Im Rahmen der Forschung im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion hat sich allerdings gezeigt, dass auch bei der Bearbeitung von Aufgaben in dynamischen Systemen das Leistungsverhalten zwischen einzelnen Benutzern oftmals stark variiert. Diese Unterschiede sind einerseits zurückzuführen auf unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeiten wie z.B. Intelligenz oder Arbeitsgedächtniskapazität (Ackerman 2005), zum anderen wird auch die Rolle von individuellen kognitiven Strategien zur optimalen Anpassung an Aufgabenumgebungen betont (Schunn & Reder 2001). In bisherigen kognitiven Modellen wurden individuelle Unterschiede zwischen Benutzern beispielsweise als Parameter, etwa bezogen auf die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, integriert (Daily, Lovett & Reder 2001). Jongman & Taatgen (1999) sehen etwa mentale Ermüdung als einen möglichen Einflussfaktor für individuelles Benutzerverhalten. Bisher nicht betrachtet wurde konkretes unterschiedliches strategisches Verhalten auf kognitiver Basis, allerdings besteht in dieser Hinsicht ein ansteigendes Interesse (Brumby & Salvucci 2006).

3.2.1 Aufgabe

Am Beispiel der eingeführten Destillationskolonne wurde den Teilnehmern ihre Aufgaben erklärt. Sie wurden gebeten, kognitive Strategien zu spezifizieren und deren Anwendbarkeit innerhalb der kognitiven Modellierung kritisch zu hinterfragen. Diese Aufgabe bezog sich dabei sowohl auf *Mikrostrategien* (z.B. Ablesen des Pegelstandes) als auch auf *Makrostrategien* (z.B. Steuerung des Pegelstandes mittels der Elemente *Heizung* und *Ventil*). Eine *Mikrostrategie* bezieht sich auf eine feingranulare Beschreibung von atomaren, elementaren Prozessen der menschlicher Kognition (*low-level description*). Sie ist nicht zwangsläufig bewusst, sondern kann vielmehr auch automatisch, unbewusst ablaufen und sich somit potentiell der willentlichen Kontrolle entziehen. *Mikrostrategien* bezeichnen Prozesse, die in der Regel nicht weiter unterteilt werden können. *Makrostrategien* hingegen beziehen sich auf Handlungspläne (*high-level description*), gemeint sind also konkrete algorithmisch beschreibbare Abläufe des Problemlöseverhaltens. *Makrostrategien* sind folglich Planungsstrategien zur Optimierung von Verhalten. Sie sind direkt beobachtbar und nachvollziehbar, ein Beispiel dafür wird in Kiefer & Urbas (2006) beschrieben. Als Hilfe und Orientierung wurde eine Übersicht hinsichtlich möglicher Aktivitäten (z.B. *scan, observe, execute, regulate* etc.) zur Verfügung gestellt (Köhler 2001). Allerdings war die Anwendung derartiger Basisoperationen nicht obligatorisch, sondern vielmehr freiwillig. Es zeigten sich dementsprechend deutliche Unterschiede zwischen den Teilnehmern hinsichtlich einer diesbezüglichen Anwendung.

3.2.2 Ergebnisse

Die Gruppenarbeit lieferte folgende Ergebnisse:

- (1) *Dominante Strategie* der Pegelregulation: Kontrolliere Pegel und weiche nur dann visuell ab, wenn die Steuerung eines anderen Elementes (z.B. Heizung) dies erfordert. Die Diskussion legte zudem nahe, dass die eingesetzte Strategie

gie von weiteren Faktoren (z.B. durch die Geschwindigkeit des Pegelanstiegs) moderiert wird.

- (2) Die Bearbeitungsweise und die angewandten Strategien hängen stark von *Vorwissen* und *Erfahrung* ab: beide Aspekte wirken sich aus auf Art und Weise von *Informationsaufnahme*, *Informationsorganisation* und *Informationsanwendung*. Personen, die bereits mit ähnlichen Systemen zu tun hatten bzw. einen verwandten Hintergrund besitzen, konnten eher das Problem analytisch erfassen und bildeten eine Art Regelinventar (z.B. „Erste Maßnahme muss das Einschalten der Heizung sein“), sie nutzen folglich ihr Vorwissen zur Problemlösung. Novizen hingegen begeben sich naiv im Sinne des Experimentes an die Aufgabe und werden durch Systemrückmeldung (Pegelstand) als auch durch eine Art Daumenregeln (*rules-of-thumb*) geleitet. Auf Basis des Workshops kann man das Vorgehen von Experten eher als *top-down* - orientiert beschreiben, Novizen würde man eher als *bottom-up* – geleitet beschreiben.
- (3) Weitere Faktoren, die sich auf das Herausbilden von Strategien auswirken, sind *Priorisierung* (Welche Aufgabe ist Hauptaufgabe?), *Zeitdruck* (Sind temporale Grenzen einzuhalten?) und die mit den ergebenden Fehler auftretende *Konsequenzen* (Welche Auswirkungen hat eine Pegelüberschreitung für den Versuchsteilnehmer?).

Die Gruppenarbeit dieses Workshops zeigt auf, welche Faktoren bei der Herausbilden von kognitiven Strategien eine entscheidende Rolle spielen. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt ein in die Untersuchung von strategischem Verhalten in dynamischen Aufgabenumgebungen.

3.3 Modellauswertung und -analyse zur Unterstützung benutzerorientierter Gestaltung

Der dritte Teil des Workshops befasste sich mit dem Problembereich der Auswertung und der Analyse von Simulationsdaten kognitiver Modelle. Heute werden Simulationsdaten in zumeist großen Logdateien ausgegeben und es existieren kaum standardisierte Analysealgorithmen zur Verdichtung und Interpretation der Simulationsdaten. Die Analyse und die Rückführung der Simulationsergebnisse auf einfache Art und Weise stellen somit wichtige Aspekte für die Etablierung der Methode der kognitiven Modellierung für die Bewertung von MMI dar. Für die Analyse kognitiver Modelle sind zeitliche Abhängigkeiten (z.B. Ausführungszeiten) die gängige Praxis. Die in kognitiven Low-Level Architekturen implementierten kognitionspsychologischen Theorien ermöglichen aber weitere Auflösungsgrade und Betrachtungsparameter. Die Suche nach fein aufgelösten kognitiven Mustern in den Simulationsdaten (bspw. zur visuellen Informationsaufnahme: Auge bewegen, Eindruck aufnehmen, Eindruck verarbeiten, Information enkodieren) ist eine weitere Möglichkeit, die Aussagekraft von kognitiven Modellen zu erhöhen. Die Interpretation der identifizierten Interaktionsmuster erlaubt eine feinere und genauere Klassifizierung der Interaktionsprozesse und eine Beurteilung der Schnittstellengestaltung hinsichtlich der Unterstützung kognitiver Prozesse als die zeitliche Abhängigkeit. Beispielsweise kann die Anordnung von Bedienelementen und die diesbezüglichen Interaktionsprozesse hinsichtlich der Blickbewegung und der Entscheidungsprozesse eines kognitiven Mo-

dells überprüft und bewertet werden. Die Gestaltung kann anschließend an die vorhergesagten Interaktionsmuster und Fehlhandlungen des Modells angepasst werden.

Ziel des Dissertations-Projektes in dessen Zusammenhang dieser Teilworkshop durchgeführt wurde, ist die Entwicklung von Analysealgorithmen und anschließende Validierung mit empirisch erhobenen Daten.

3.3.1 Aufgabe

Die Aufgabe der Kleingruppe im Rahmen des Workshops bestand darin, die Möglichkeiten der kognitiven Modellierung für die Bewertung von MMI zu diskutieren und kritisch aus Sicht der in der Kleingruppe beteiligten Disziplinen zu betrachten. Im Weiteren sollten Hypothesen für die Analyse von Simulationsdaten zum Vergleich von Interfaces auf der Basis von visuellen Informationsaufnahme und -verarbeitungsprozessen am Beispiel der Destillationskolonne aufgestellt und ein mögliches Versuchsdesign zur Bestimmung der benötigten Parameter andiskutiert werden.

3.3.2 Ergebnisse

Es zeigte sich, dass die beteiligten Disziplinen (Psychologie, Ingenieurwissenschaften, Informatik) ein sehr unterschiedliches Verständnis von kognitiver Modellierung und anschließender Simulation haben. In der allgemeinen Psychologie scheint das Bild vorzuherrschen, dass Modellierung eingesetzt wird um Ergebnisse zu validieren, nicht aber, so wie es in der Kognitionspsychologie schon länger der Fall ist, um Hypothesen aufzustellen. Die Übertragbarkeit von psychologischen Experimenten auf kognitive Simulationsexperimente wird noch nicht akzeptiert und bedarf für den Einsatz in der Praxis einer weiteren Betrachtung. In den Ingenieurwissenschaften und der Informatik wird diese Übertragbarkeit pragmatischer betrachtet. Die Überführung von menschlichen Informationsverarbeitungsprozessen in mathematischen und damit berechenbare Ausdrücke stellt keine Hürde für den Einsatz dar. In allen drei Disziplinen stellte sich aber die Frage zur Art und Weise der Unterstützung in der Erstellung, Erweiterung und Auswertung von kognitiven Modellen. Eine weiterer Ansatzpunkt für die Etablierung der interdisziplinären Methode der kognitiven Modellierung kann in der Anpassung der Sprachmittel gefunden werden, d.h. die zum einen im Studium gelehrt und zum andern in der Praxis gebräuchlichen Sprachmittel sollten über die Grenzen der einzelnen Disziplinen angepasst werden, um ein gemeinsames Verständnis und somit die Anwendung der Methode zu begünstigen.

Für die Analyse von visuellen Informationsverarbeitungsprozessen und die darauf basierende Bewertung von Benutzungsschnittstellen wurde von Seiten der Psychologie darauf hingewiesen, dass die experimentellen Erkenntnisse zum Lesen als Grundlage für die Analyse der visuellen Suchprozesse (Interaktion) in der komplexen dynamischen Systemumgebung der Destillationskolonne geeignet wären (z.B. Pollatsek, Reichle & Rayner 2006). Als Versuchsdesign wurde vorgeschlagen eine mögliche Benutzungsschnittstelle für die Destillationskolonne zu implementieren und diese im Bezug auf die Erkenntnisse der Leseforschung leicht zu variieren. Dies ermöglicht die Beschränkung auf beobachtbare und ableitbare Phänomene. Somit wäre es möglich die Simulationsdaten gezielt auszuwerten und darauf resultierende Algorithmen zu entwickeln.

4. Zusammenfassung und Fazit

Der Workshop lieferte einen Einblick in den Bereich der kognitiven Modellierung. Exemplarisch wurde diese an der kognitiven Architektur ACT-R (Anderson et al. 2004) erklärt, die theoriebasiert kognitive Prozesse simuliert und es dadurch ermöglicht menschliches Handeln zu untersuchen und zu erklären. Ziel des Workshops war es die Möglichkeiten und Grenzen heutiger Forschung im Bereich kognitiver Benutzermodellierung aufzuzeigen und kritisch diskutieren zu lassen. Die Simulation einer Destillationskolonne diente als Beispiel eines dynamischen Systems. An dieser praktischen und realitätsnahen Anwendung wurde modellbasiertes Vorgehen verdeutlicht. Darauf aufbauend beschäftigten sich drei Kleingruppen mit den Bereichen Modellbildung, Modellvariation sowie Modellauswertung. Diskutiert wurden dabei in den jeweiligen Gruppen das Problem der mangelnden Werkzeugunterstützung, die bisher unzulängliche Integration von interindividuellem Benutzerverhalten sowie das noch nicht ausgeschöpfte Potential der Modellanalyse und Modellauswertung. Die Ergebnisse des Workshops zeigen das außerordentliche Potential kognitiver Modellierung und geben auf Basis des interdisziplinären und interaktiven Bearbeitens von Problemaspekten Hilfestellung zur Modifikation und Verbesserung der vorgestellten Methoden und Werkzeugen. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse des Workshops in geeigneter Form in die drei Dissertationsprojekte einfließen.

5. Danksagung

An dieser Stelle danken wir allen Teilnehmern des Workshops „Kognitive Modellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen“ für das rege Interesse an den vorgestellten Themen, die aktive Teilnahmen am Workshop und den daraus resultierenden konstruktiven Anregungen und Ideen.

6. Literatur

- Ackerman, P. L. (2005). Ability determinants of individual differences in skilled performance. In R. J., Sternberg, & J., Pretz (Hrsg.), *Cognition and Intelligence: Identifying the Mechanisms of the Mind*, 142-159. NY: Cambridge University Press.
- Amelang, M. & Bartussek, D. (2001). *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- 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.
- Bortz, J. (1984). *Lehrbuch der empirischen Sozialforschung*. Berlin: Springer.
- Boy, G.A. (1998). *Cognitive function analysis*. Ablex, Stamford, CT.
- 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.

- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- 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.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. & Vlissides, J. (1995) *Design patterns: Elements of reusable object oriented software*. Boston, MA: Addison Wesley.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Howes, A. & Young, R. M. (1997). The role of cognitive architecture in modeling the user: Soar's learning mechanism. *Human-Computer Interaction*, 12 (4), 311-343.
- John, B. E. & Kieras, D. E. (1996). The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3 (4), 320-351.
- Jongman, L. & Taatgen, N. A. (1999). An ACT-R model of individual differences in changes in adaptivity due to mental fatigue. In *Proceedings of the twenty-first annual conference of the cognitive science society*, 246-251. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 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.
- Köhler, T. (2001). *Anwendung und Weiterentwicklung von CREAM am Beispiel der Bedienung und Überwachung einer verfahrenstechnischen Anlage*. Diplomarbeit am Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft der TU-Berlin.
- Meyer, D. E. & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104, 749-791.
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D. & Rayner K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52(1), 1-56.
- Ritter, F. E., Shadbolt, N. R., Elliman, D., Young, R. M., Gobet, F. & Baxter, G. D. (2003). *Techniques for modeling human and organizational behavior in synthetic environments: A supplementary review*. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Human Systems Information Analysis Center (HSIAC).
- Salvucci, D. D. & Lee, F. J. (2003). Simple Cognitive Modeling in a Complex Cognitive Architecture. In *Human Factors in Computing Systems: CHI 2003 Conference Proceedings*. New York: ACM.

- 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.
- 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.
- Urbas, L., Dubrowsky, A., Dzaack, J. & Heinath, M. (2005). Entwicklungsmodelle in der Praxis: Ergebnisse einer Interviewstudie. *Bericht am ZMMS*, Technische Universität Berlin.

Passive und Aktive Sicherheitsmaßnahmen im Kraftfahrzeug

NICOLA FRICKE¹, CHARLOTTE GLASER¹ & MONICA DE FILIPPIS²

¹TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Graduiertenkolleg prometei

²TU Berlin, Fachgebiet Allgemeine Psychologie I / Kognitionspsychologie

Schlüsselwörter: aktive Sicherheit, passive Sicherheit, Warnungen, Kindersicherheit, Fahrerassistenz

1. Zusammenfassung

Die Verbesserung der Sicherheit in der Mensch-Maschine-Interaktion ist ein wichtiger Anreiz für Neu- und Weiterentwicklungen im Automobilbereich. Unterschiedliche Werkzeuge zur Gestaltung der Risikominimierung umfassen passive und aktive Sicherheitsmaßnahmen, deren angemessener und erfolgreicher Einsatz jedoch weitere Forschung und Konkretisierung voraussetzt. Im Workshop „Sicherheit im Fahrzeug“ der Frühjahrsschule des Zentrums für Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin wurden zwei aktuelle Promotionsprojekte vorgestellt, die sich unter dieser Fragestellung mit verschiedenen passiven und aktiven Sicherheitsmaßnahmen beschäftigen.

Das Projekt zur Nutzersicht bei der Gestaltung und Bewertung von Sicherheitssystemen am Beispiel Kindersitz stellte ein Modell mit drei für Sicherheitssysteme relevanten Problembereichen und drei Gruppen von Einflussvariablen vor. Im Rahmen des Workshops wurden Fragen zur Vollständigkeit, Spezifizierung und Verallgemeinerung des Modells diskutiert.

Beim Projekt zur Gestaltung der Semantik von Warnungen im Automobil stand die Gestaltung von Kollisionswarnungen zur Vermeidung von Unfällen im Vordergrund. Dabei wurde eine Systematik zur Klassifikation von Situationsfaktoren der Fahrfehlerentstehung vorgestellt und im Workshop erweitert.

Die Ergebnisse bestätigen die bisherigen Überlegungen und Planungen der Forschungsprojekte und konkretisierten die nächsten Schritte in den Forschungsvorhaben.

2. Was ist Sicherheit?

Ein beständiges Ziel der Entwicklung und Gestaltung von Mensch-Technik Interaktion ist die Verbesserung der Sicherheit, sowohl im Straßenverkehr als auch in anderen Bereichen. Verschiedenste Normen (z. B. EN1317, 1998; ECE R 44, 1998) versuchen dabei, Parameter zu definieren, aus denen Sicherheit abgeleitet und in bestimmten Maßen garantiert werden kann. Als frei verhandelbares und u. a. durch Institutionen, gesellschaftlichen oder organisationsabhängigen Konsens definiertes Konstrukt ist Sicherheit jedoch nie absolut erreichbar und stark unterschiedlich definierbar.

Ein Ansatz zur Definition ist, das Maß der Sicherheit durch das Risiko zu definieren, unerwünschte Konsequenzen, materiellen oder personellen Schaden zu erleiden. Das Risiko selbst beschreibt dabei die Wahrscheinlichkeit, dass ein potentiell gefährlicher Zustand oder eine Situation eintritt. Die Gefährlichkeit eines solchen Zustands oder einer Situation wird von vielen Faktoren beeinflusst. Konstrukte wie die Risikosicht, Risikowahrnehmung und Risikokommunikation, aber auch das objektive Risiko oder die Akzeptabilität des Risikos spielen eine Rolle. Dies macht deutlich, dass, wenn man Sicherheit erhöhen bzw. Risiko vermindern will, Charakteristika der Umgebung, des Produkts, der Aufgabe und der Person berücksichtigt werden müssen (Wogalter, Dejoy & Laughery, 1999).

Für konkrete Entwicklungs- und Gestaltungsmaßnahmen zur Risikominimierung ist eine klare Rangfolge sinnvoll (Letho & Salvendy, 1995). Als erstes sollten immer passive Sicherheitsmaßnahmen, wie das Design des sicheren, risikofreien Produkts im Vordergrund stehen. Was bei einfachen Produkten mit wenig Umgebungseinflüssen noch machbar erscheint, stößt im Straßenverkehr jedoch schnell an seine Grenzen. Daher müssen hier oft weitere Maßnahmen ergriffen werden. Wenn als zweiter Schritt das Einfügen von Schutzeinrichtungen gegen Gefahr nicht ausreicht oder nicht umsetzbar ist, sollten schließlich aktive Sicherheitsmaßnahme wie Warnungen vor der Gefahr eingesetzt werden.

Im Workshop der Frühjahrsschule des Zentrums für Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin wurden zwei Promotionsprojekte vorgestellt, die sich im Fahrzeugbereich mit unterschiedlichen Möglichkeiten beschäftigen, die Sicherheit zu erhöhen. Im ersten Projekt wird bei passiven Sicherheitssystemen am Beispiel von Autokindersitzen der Einfluss der Nutzersicht als Personenfaktor auf die Sicherheit untersucht. Das zweite Projekt beschäftigt sich mit dem aktiven Sicherheitsinstrument der Warnung und fokussiert auf die Umgebungsfaktoren im Kollisionsfall. Die Teilnehmer des Workshops waren eingeladen, gemeinsam mit den Autorinnen die bisher entwickelten Modelle und Systematiken zu diskutieren, zu prüfen und zu ergänzen. Im Folgenden werden die zwei Projekte näher vorgestellt und die im Workshop erreichten Fortschritte dokumentiert.

3. Passive Sicherheit

Häufig werden auf dem Markt angebotene Sicherheitssysteme von Kunden nur wenig nachgefragt. Zudem werden derartige Systeme, sofern sie vom Kunden zunächst durch Einbau, Einschalten oder Einrichten „aktiviert“ werden müssen, häufig nicht

oder falsch verwendet. All dies führt dazu, dass das Sicherheitspotential eines Systems nicht vollständig ausgeschöpft wird.

Es ist daher wichtig, die Hintergründe bei der Nutzung und Nichtnutzung von Sicherheitssystemen aus psychologischer Perspektive zu beleuchten und so Einflussmöglichkeiten aufzuzeigen und Gestaltungsvorschläge zu machen, die bei einer rein technischen Betrachtung nicht erkennbar sind. Wie bereits aufgeführt, müssen dabei drei Aspekte der problematischen Nutzung betrachtet werden:

- Was wünscht der Nutzer vom System, was führt zu seiner Zufriedenheit? (Zufriedenheits-Problematik)
- Wird das System überhaupt genutzt? (Nonuse-Problematik)
- Wenn es genutzt wird, wird es korrekt genutzt? Welche Fehler treten gegebenenfalls auf? (Misuse-Problematik)

Ein Modell der Nutzung passiver Sicherheitssysteme muss die Frage beantworten, welche Faktoren auf welche Weise Einfluss auf diese drei Nutzungsprobleme haben können. Da Charakteristika der Umgebung, des Produkts und der Person berücksichtigt werden müssen, können drei, nicht notwendigerweise von einander unabhängige Gruppen potentieller Einflussfaktoren postuliert werden: Variablen des Nutzers, Variablen des Systems und Variablen der Situation, in der das System genutzt wird/genutzt werden soll.

Aufgrund der bisherigen Überlegungen lässt sich als Arbeitsmodell ein einfaches Modellskelett entwickeln, in dem die Beziehungen der Einflussfaktoren und Nutzungsprobleme noch unspezifisch und allgemein sind. Dieses Grundmodell ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

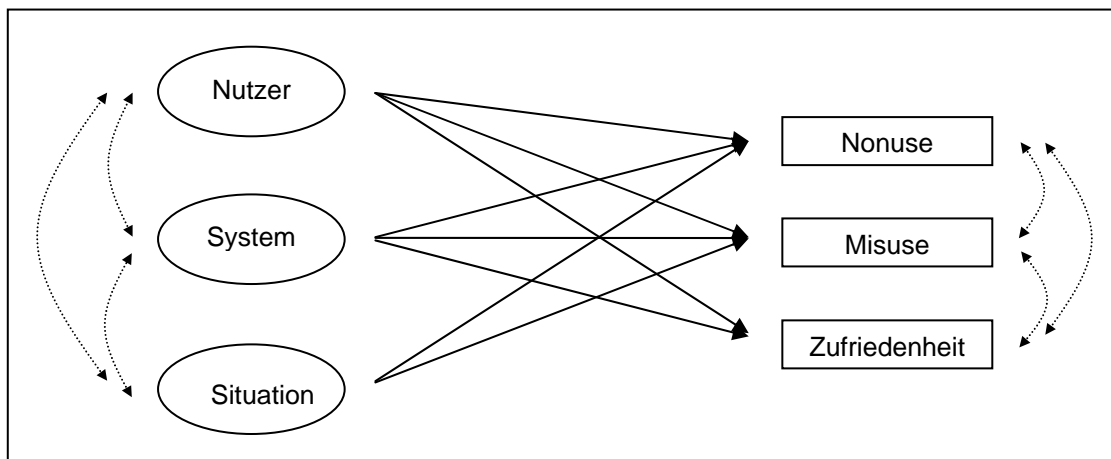


Abbildung 1: Mögliche Einflussvariablen auf Misuse, Nonuse und Zufriedenheit und mögliche Zusammenhänge

Als beispielhaftes Sicherheitssystem wird für das hier vorgestellte Promotionsprojekt der Autokindersitz herangezogen. Dieses System scheint in diesem Zusammenhang als geeignetes Studienobjekt, da die Literatur zeigt, dass alle drei Problembereiche relevant sind (u. a. Langwieder, Stadler, Hummel, Fastenmeier & Finkbeiner, 1997; Hummel, Finkbeiner & Roselt, 2004).

Im den folgenden Abschnitten werden die Einflussvariablen weiter spezifiziert.

3.1 Systemvariablen

Insgesamt lassen sich sechs relevante Merkmale des Sitzes ausmachen: Nützlichkeit/Sicherheit (wie gut schützt der Sitz bei einem Unfall?), Usability/Handhabung (wie leicht lässt sich der Sitz handhaben, wie leicht ist die Handhabung zu erlernen?), Design, Preis, Marke, Komfort für das Kind.

3.2 Situationsvariablen

Sieben verschiedene Situationsmerkmale scheinen im Zusammenhang mit Kindersicherheit von Bedeutung zu sein: Fahrtstrecke, Fahrtdauer, Fahrtziel, Fahrtzweck, Zeitdruck, Platz im Auto, aktuelle Verfügbarkeit des Sitzes.

3.3 Nutzervariablen

Um potentiell relevante Nutzervariablen zu identifizieren, wurde auf verschiedene psychologische Theorien zurückgegriffen, die das Verhalten einer Person mit Hilfe von bestimmten Eigenschaften oder Einstellungen erklären (Fishbein & Ajzen, 1975; Ajzen, 1991; Davis, 1989; Venkatesh, 2003; Rogers, 1983; Forward, 1991). Die möglichen Einflussvariablen wurden dabei zusammengefasst und um weitere Einflussgrößen ergänzt. Dadurch ergeben sich 7 Variablen:

- Wissen über das entsprechende System und seine Nutzung
- Sicherheitsbewusstsein als allgemeine Persönlichkeitseigenschaft
- Soziale Norm: was denken relevante andere Personen?
- Wahrgenommene Verhaltenskontrolle: fühlt sich die Person in der Lage das System zu verwenden?
- Einstellung zum System und zur Nutzung; diese wird wiederum durch die wahrgenommenen Kosten und den wahrgenommenen Nutzen des Systems beeinflusst
- Risikowahrnehmung: wie hoch wird die eigene Verletzlichkeit und deren potentielle Schwere eingeschätzt?
- Weitere allgemeine Merkmale wie Alter, Geschlecht oder Anzahl der Kinder

3.4 Ergebnisse des Workshops

Im Rahmen des Workshops wurden in Kleingruppen drei Fragestellungen bearbeitet. Die erste Fragestellung betraf die Vollständigkeit der postulierten Nutzer-, System- und Situationsvariablen, die zweite die Zusammenhänge der einzelnen Variablen des Modells. Die dritte Fragestellung bezog sich auf die Übertragbarkeit des Modells auf andere Sicherheitssysteme, wobei der Frage nachgegangen wurde, wie ein allgemeingültiges, übertragbares Modell aussehen könnte.

Durch die Ergebnisse wurde deutlich, dass bezüglich der Vollständigkeit der Variablen das verwendete Fahrzeug und auch das involvierte Kind bisher nicht vollständig berücksichtigt worden sind. Hier müssen die Variablen ergänzt oder die Zuordnung im Modell deutlicher gemacht werden. Die Zusammenhänge der Variablen innerhalb des Modells konnten mithilfe der Beiträge etwas eingegrenzt werden. Erst eine empi-

rische Prüfung kann hier jedoch zu zuverlässigen Aussagen führen. Die Übertragbarkeit des bisher entwickelten Modells auf andere Sicherheitssysteme erscheint plausibel, lediglich eine allgemeingültigere Formulierung bezüglich der Situationsvariablen wurde angefordert. Dabei sollte auch die bislang unterschiedliche Abstraktheit der situativen Variablen beseitigt und alle Variablen auf einer Abstraktionsebene beschrieben werden.

4. Aktive Sicherheit

Einen großen Anteil bei dem Versuch, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, trägt die Unfallprävention. Dabei ist der Mensch selbst oft Ursache von Unfällen, er kann durch falsche Verhaltensweisen in nahezu 90% der Verkehrsunfälle als mit- oder hauptverantwortlich gesehen werden (Schlag, 2004). Ein wichtiges Ziel verkehrspsychologischer Forschung besteht somit darin, hilfreiche und notwendige Unterstützungsangebote für den Menschen bei der Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Interaktion zu entwickeln.

Hierbei sind verschiedene Arten der Unterstützung denkbar. Ein Assistenzsystem kann in den Bereichen der Information, der Handlungsanweisung oder gar bei einem Eingriff in die ausgeführte Handlung tätig sein. Eine weitere grundlegende Unterscheidung betrifft die Art der Unterstützung: die Bezeichnung Fahrerassistenzsystem (FAS) wird verwendet, wenn es sich um eine fahrrelevante Unterstützung oder Information handelt, wohingegen von Fahrerinformations- und Kommunikationssystemen (FIS) gesprochen wird, wenn die Unterstützung nicht direkt mit der Fahraufgabe zusammenhängt (Färber, 2005; Kopf, 2005). Weitergehende Klassifizierungen sind die Unterteilung in Komfortsysteme, die den Fahrer in speziellen Situationen unterstützen oder bestimmte Fahraufgaben übernehmen, und Sicherheitssysteme, die in Situationen aktiv werden, wenn der Fahrer falsch, zu spät, oder gar nicht reagiert hat (Kopf, Farid & Steinle, 2004). Sicherheitssysteme selbst werden zudem noch einmal in Systeme der aktiven Sicherheit (zur Unfallvermeidung) und passiven Sicherheit (Verringerung der Unfallfolgen) unterteilt (Niehsen, Garnitz, Weilkes & Stämpfle, 2005).

Zur Prävention von Unfällen ist es hilfreich, ihre Entstehung näher zu betrachten. Dabei wird deutlich, an welchen Stellen und in welcher Form Unterstützung sinnvoll ist. Unfallstatistiken zeigen, dass ein überwältigender Anteil der Unfälle, ca. 70%, Kollisionen mit anderen Konfliktobjekten wie Fahrzeugen oder Fußgängern beinhaltet (Statistisches Bundesamt, 2005). Bei der Entstehung diesen Unfalltyps kommt Verkehrskonflikten eine bedeutende Rolle zu: sie zeichnen sich durch mindestens zwei Verkehrsteilnehmer aus, die sich so einander annähern, dass eine Kollision nur noch durch ein kritisches Manöver verhindert werden kann (Zimolong, 1982). Ein Verkehrskonflikt führt nicht notwendigerweise zu einer Kollision, diese ist aber unvermeidbar, wenn das notwendige Manöver zur Verhinderung des Zusammenpralls nicht oder falsch ausgeführt wird (siehe Abbildung 2).

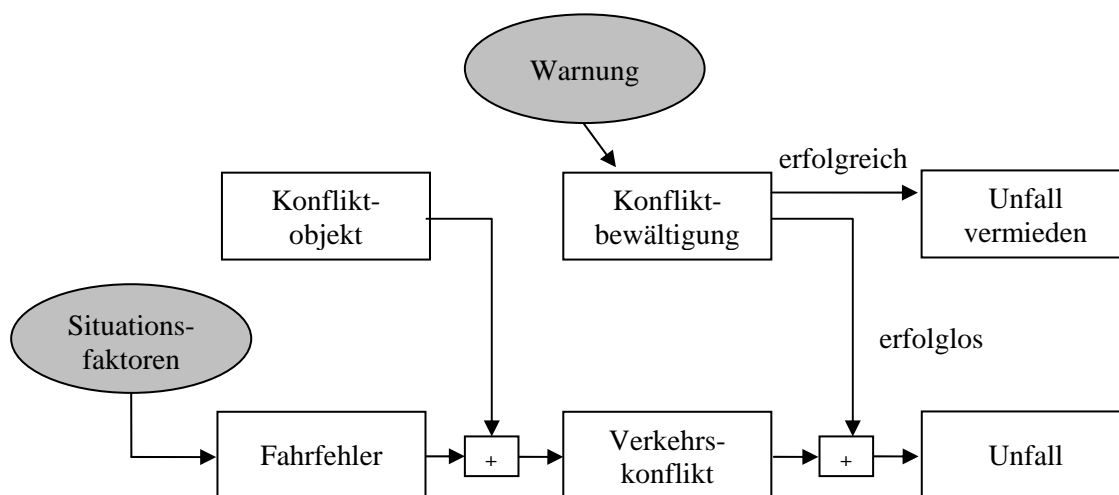


Abbildung 2: Unfallentstehungsmodell (modifiziert nach Reichart (2000), Glaser, Waschulewski & Schmid (2005) und Nirschl, Böttcher, Schlag & Weller (2004))

Die Betrachtung dieses Unfallentstehungsmodells zeigt zwei Punkte, an denen Unterstützung zur Vermeidung einer Kollision ansetzen kann: bei der Konfliktbewältigung und bei den Fahrfehlern. Der erste Aspekt betrifft das Einwirken auf die Konfliktbewältigung: wie übermittelt man Information über kritische Zustände an den Fahrer? Die Warnungsforschung hat dazu besonders aus dem Bereich der Konsumprodukte vielfältige Erkenntnisse geliefert. Im Fahrzeug herrschen jedoch spezifische Bedingungen, da Aspekte der zeitlichen Dimension und Ressourcenbeschränktheit die Möglichkeiten der Informationsübermittlung stark einschränken. So beziehen sich viele sehr wichtige Warnmeldungen, die unter Umständen einen Unfall vermeiden helfen würden, auf selten auftretende Ereignisse und können deshalb nicht im klassischen Sinne erlernt und nur sehr schlecht erinnert werden. Weiterhin ist es bei akuter Kollisionsgefahr notwendig, dass durch die Warnung eine schnelle Handlung ausgelöst wird. Das wird zwar oftmals erreicht, jedoch müssen dies nicht unweigerlich die richtigen Reaktionen sein. Ein Ansatz des vorgestellten Promotionsprojekts ist es, Defizite einer Gefahrensituation aufzuheben, indem Aspekte der Situation zeitlich vorweg genommen werden und durch Parameter der Situation selbst gewarnt wird. Eine andere Möglichkeit wäre, die Situation durch zusätzliche Information anzureichern. Insgesamt soll der semantische Gehalt einer Warnmeldung erhöht und so gestaltet werden, dass eine direkte, natürliche Reaktion ausgelöst wird, die eine angemessene Handlung in der jeweiligen Gefahrensituation darstellt.

Betrachtet man den zweiten Aspekt, wird deutlich, dass Fahrfehler durch verschiedenste Einflussfaktoren begünstigt werden können. Im Rahmen des Workshops sollte eine Taxonomie der Faktoren entwickelt bzw. ergänzt werden.

4.1 Ergebnisse des Workshops

Ergänzt durch die Workshop-Ideen ließ sich eine Taxonomie zu den Faktoren erstellen, die in einer Kollisionssituation einen Fahrfehler begünstigen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Darauf aufbauend lässt sich überlegen, wie Fahrerassistenzsysteme aussehen können, die auf einige dieser Situationsfaktoren einwirken und somit die Entstehung von Fahrfehlern verhindern.

Tabelle 1: Situationsfaktoren der Fahrfehlerentstehung

Umgebungsfaktoren	Personenfaktoren	Systemfaktoren
Schlechte Sicht (z. B. Dunkelheit)	Fahrer Unaufmerksamkeit (z. B. Beschäftigung mit Nebenaufgabe)	Defekt am Fahrzeug
Verdeckung	Mangelnde Verkehrstüchtigkeit (z. B. Intoxikation)	Falsche Ausrüstung (z. B. Reifen)
Witterung (z. B. Regen)	Mangelnde Bewältigung (z. B. zu hoher workload)	Fehlende Unterstützungssysteme (z. B. ABS, ESP, ...)
Fahrbahnverhältnisse (z. B. rutschiger Fahrbahnbelag)	Mangelndes Wissen	Schlechtes Design (z. B. Anzeige im Fahrzeug)
Objektdichte Aktiv: z. B. Verkehrsdichte Passiv: z. B. Bäume	Absichtliches Verletzen von Verkehrsregeln	
Straßenführung (z. B. monoton, schlechte Beschilderung, ...)	Emotionaler Zustand	

5. Weitere geplante Arbeiten

Für das Promotionsprojekt zur passiven Sicherheit soll nun die tatsächliche Relevanz der postulierten Faktoren des Modells und deren Zusammenhang untereinander spezifiziert und empirisch überprüft werden. Zu diesem Zweck ist eine Studie geplant, die einen Beobachtungs- und einen Befragungsteil umfaßt. Darüber hinaus soll der Fokus erweitert werden, indem neben der Betrachtung der Nutzungsphase auch Aspekte der Vorkaufphase wie die Suche nach Informationen über ein Sicherheitssystem und die wahrgenommene Sicherheit der Systeme untersucht werden sollen.

Im Projekt der Gestaltung von Warnmeldungen dient die entwickelte Taxonomie der Situationsfaktoren der Fahrfehlerentstehung als Grundlage, um Szenarien für eine Fahrsimulatoruntersuchung zu generieren. Hierbei wird der besondere Fokus auf die Umgebungsfaktoren gelegt. Diese Szenarien bilden dann die Basis, um Warnmeldungen mit einem hohen semantischen Informationsgehalt auf ihre Tauglichkeit im Fahrsimulator zu überprüfen.

6. Danksagungen

Unser besonderer Dank gilt allen Teilnehmern der Frühjahrsschule des ZMMS, die durch ihre Ideen, Hinweise und Kritik zum Fortschritt dieser Projekte beigesteuert und diesen Beitrag ermöglicht haben.

7. Literatur

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13, 319-339.
- ECE-R 44 (1998). *Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Rückhalteeinrichtungen für Kinder in Kraftfahrzeugen (Kinderrückhaltesysteme)*.
- EN1317-1 (1998). *Road Restraint Systems. Terminology and General Criteria for Test Methods*.
- Färber, B. (2005). Erhöhter Fahrernutzen durch Integration von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 141-160). Berlin: Springer.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Forward, S. (1991). *Theoretical Models of Attitudes and the Prediction of Drivers' Behaviour*. Uppsala, Sweden: Uppsala University Department of Psychology.
- Glaser, W. R., Waschulewski, H. & Schmid, D. (2005). I-TSA – Ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen auf die Verkehrssicherheit. In *Fahrer im 21. Jahrhundert. Der Mensch als Fahrer und seine Interaktion mit dem Fahrzeug* (VDI-Berichte Nr. 1919, S. 17-41). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Hummel, T., Finkbeiner, F. & Roselt, T. (2004). *Kinder im Auto. Studie zur Verwendung von Kinderschutzsystemen und Verbesserungspotentiale durch ISOFIX*. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- Kopf, M. (2005). Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen? In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 117-140). Berlin: Springer.
- Kopf, M., Farid M. N. & Steinle, J. (2004). *Bausteine zur Entwicklung eines Systems der aktiven Sicherheit*. Beitrag auf der Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, 11.-12.03.2004 in München. Verfügbar unter: http://www.ftm.mw.tum.de/zubehoer/pdf/Tagung_AS/25_kopf.pdf [08.05.06]
- Langwieder, K., Stadler, P., Hummel, T., Fastenmeier, W. & Finkbeiner, F. (1997). *Verbesserung des Schutzes von Kindern in Pkw*. (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit Heft M73). Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.
- Letho, M. R. & Salvendy, G. (1995). Warnings: A supplement not a substitute for other applications to safety. *Ergonomics*, 38, 2155-2163.
- Nielsen, W., Garnitz, R., Weilkes, M. & Stämpfle, M. (2005). Informationsfusion für Fahrerassistenzsysteme. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 43-58). Berlin: Springer.

- Nirschl, G., Böttcher, S., Schlag, B. & Weller, G. (2004). Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerassistenzsystemen durch objektive Erfassung von Fahrfehlerrisiken. In *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (VDI-Berichte Nr. 1864, S. 397-420). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Reichart, G. (2001). *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen* (VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 22, Nr. 7). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Rogers, R. W. (1983). Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation. In J. T. Cacioppo & R. E. Petty (Eds.), *Social psychophysiology. A sourcebook* (pp. 153-176). New York: The Guilford Press.
- Schlag, B. (2004). *Verkehrspsychologie*. Lengerich: Pabst Science.
- Statistisches Bundesamt (2005). *Verkehr. Verkehrsunfälle*. Februar 2005 Fachserie 8, Reihe 7, 02/2005). Verfügbar unter: <http://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1018747> [13.07.06]
- Venkatesh, V. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27, 425-478.
- Wogalter, M. S., Dejoy, D. M. & Laughery, K. R. (1999). *Warnings and risk communication*. London: Taylor & Francis.
- Zimolong, B. (1982). *Verkehrskonflikttechnik – Grundlagen und Anwendungsbeispiele* (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 35). Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen.

Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Sys- teme

ANNE KLOSTERMANN & JÖRG HUSS

Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, TU-Berlin

Schlüsselwörter: Mentale Kausalmodelle, Prozessführung, Wissensvermittlung, Wissensdiagnose

Zusammenfassung

Im Rahmen der Frühjahrsschule des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme wurde ein Workshop zu der Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Systeme durchgeführt. Ziel war es, Experten in interdisziplinären Teams Lösungsansätze anhand eines konkreten Untersuchungsszenarios generieren und diskutieren zu lassen. In dem vorliegenden Artikel wird zunächst das Konzept der Kausalmodelle vorgestellt, inklusive einer Theorie zum Erwerb derartigen Systemwissens. Im Anschluss wird das Untersuchungsszenario „Druckregelung einer Destillationskolonne“ erläutert. Zum Abschluss werden die Workshop-Ergebnisse dargestellt und hinsichtlich der weiteren Forschungsarbeiten diskutiert.

1. Kausalmodelle

Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten moderner, hoch automatisierter Produktionsprozesse erfordern eher selten Eingriffe vom Operateur. Zum Aufgaben-Portfolio von Operateuren gehören unter anderem die Ausführung von An- und Abfahrprozeduren, die Analyse von Systemzuständen, die Vorhersage zukünftigen Systemverhaltens, die Fehlerdiagnosen sowie die Auswahl geeigneter Gegenmaßnahmen, um auf Störungen im System angemessen reagieren zu können. Nach Hollnagel (1989) lassen sich 15 kritische kognitive Aktivitäten von Operateuren komplexer Systeme identifizieren, u.a. das Erstellen von Diagnosen, die Evaluation von Zuständen, die Überwachung des Systems, die Regelung und die Handlungs-Planung. Operateure

greifen bei der Erledigung dieser Aufgaben auf ihre mental repräsentierten Kausalmodelle des Produktionssystems zurück. Was aber ist unter einem *Kausalen Mentalen Modell* zu verstehen? Dutke definiert *Mentale Modelle* als „Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt.“ (Dutke, 1994, S.2). Mentale Modelle sind interne Abbilder der Umwelt, die den Menschen dazu befähigen Handlungen zu planen und auszuführen. Nach Rouse und Morris (1986) sind *Mentale Modelle* Mechanismen, welche die Beschreibung von Zweck, Struktur, Funktionsweise und Zustand komplexer Systeme ermöglichen, wobei sich auch verschiedene zukünftige Systemzustände prognostizieren lassen.

Für den Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion verstehen wir *Kausale Mentale Modelle* als Spezialform Mentaler Modelle. In ihnen ist Wissen über die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im System repräsentiert, d.h. das Wissen über einzelne Systemkomponenten und ihre Verbindungen untereinander. Hat ein Operateur ein Kausalmodell von einem technischen System aufgebaut, ermöglicht ihm dies zum einen die Systembedienung. Auf das Kausalmodell kann aber auch zurückgegriffen werden, um unterschiedliches Systemverhalten zu erklären. Dies beinhaltet unter anderem die Vorhersage von Systemzuständen. Das Kausalmodell bietet darüber hinaus die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung von Kontrollstrategien. Das in Form von Kausalmodellen gespeicherte Wissen stellt zudem eine Abstraktion und Reduktion der Realität dar. Gerade bei Prozessführungstätigkeiten ist dies von Vorteil, da die zu überwachenden Prozesse äußerst komplex sind, und in ihrer Vollständigkeit nur schwer repräsentiert werden können.

Kausalmodelle dynamischer Systeme dienen also dazu, zukünftiges Systemverhalten vorherzusagen, Ursachen für beobachtete Abnormalitäten und Störungen zu finden sowie angemessene Eingriffe in das System vorzunehmen (Rasmussen, 1983).

2. Erwerb von Kausalmodellen komplexer technischer Systeme

Wie aber entwickeln Operateure solche Kausalmodelle? Verschiedene Theorien beschäftigen sich mit dem Erwerb mentaler Modelle. De Kleer und Brown (1983) haben eine Theorie zum Erwerb von Kausalmodellen technischer Geräte entwickelt, die sich aber auch auf komplexe Systeme im Bereich der Prozessführung anwenden lässt. Eine Veranschaulichung des Modellerwerbs bietet Abbildung 1.

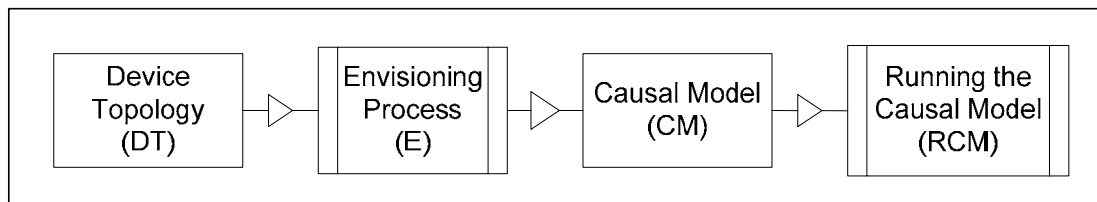


Abbildung 1: Erwerb mentaler Kausalmodelle nach De Kleer und Brown (1983)

In einem ersten Schritt wird Wissen über die am System beteiligten Komponenten erworben und repräsentiert sowie Wissen darüber, welche Komponenten miteinander verbunden sind. Dieser Schritt wird Komponenten-Topologie (Device Topology/DT) genannt. Im Grunde beschreibt diese Stufe die mentale Repräsentation der einzelnen Komponenten des Systems, ihrer räumlichen Anordnung und ihrer Verbindungen.

Damit ein Kausalmodell vom System entstehen kann, muss ein Veranschaulichungsprozess (Envisioning/E) stattfinden, in dem für jede einzelne Komponente des Systems mental simuliert wird, mit welchen anderen Komponenten sie kausal verknüpft ist. Weiterhin wird in diesem Prozess mental simuliert, welche Zustände jede einzelne Komponente annehmen kann und wie sich eine Zustandsänderung einer Komponente auf andere Komponenten im System auswirkt. Der Veranschaulichungsprozess ist ein Deduktionsprozess, in dem die Funktionen der Systemkomponenten ermittelt werden. Für jede einzelne Komponente wird ein Komponentenmodell angenommen, in dem das Wissen über die möglichen Verhaltensweisen einer Komponente repräsentiert ist. Zustände sind meist qualitative Attribute, wie z.B. „an“ vs. „aus“ oder „steigend“ vs. „fallend“. Jede Komponente hat einen Definitionsteil und einen Übergangsteil. Der Definitionsteil beschreibt, welche Auswirkungen der Zustand auf andere Teile des Systems hat. Der Übergangsteil beschreibt, wann der Zustand 1 in den anderen Zustand 2 übergeht. Um die Funktionsweise des gesamten Systems zu bestimmen, müssen alle einzelnen Komponenten beschrieben und zugehörige miteinander verbunden werden. Am Ende des Veranschaulichungs-Prozesses liegt als Resultat ein vollständiges Kausalmodell (Causal Model/CM) vor. Es repräsentiert die kausalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten und deren Zuständen und beschreibt die Arbeitsweise bzw. das Funktionieren des Systems/Geräts über konditionale Regeln (Input-Output-Regeln etc.). Dieses Kausalmodell lässt sich nun ebenfalls mental simulieren („Running of the causal model“ /RCM). Hier geschieht beispielsweise die Vorhersage eines spezifischen Verhaltens des Systems auf der Grundlage des Kausalmodells. Ausgehend von einem angenommenen Zustand einer Komponente können Auswirkungen auf die anderen Komponenten des Systems und ihre Zustände simuliert und vorhergesagt werden.

3. Kausalmodell einer Destillationskolonne

Für experimentelle Untersuchungen innerhalb unserer Forschungsprojekte verwenden wir die Mikrowelt PE/SSE (*ProperEduct/SmallSystemsEdition*) (Urbas, 1999) für die experimentelle Untersuchung unterschiedlicher Fragestellungen.

In einem Projekt wird die Mikrowelt für Simulationsexperimente verwendet, um einerseits Aspekte der Vermittlung von Kausalen Mentalen Modellen durch angemessene Interfacegestaltung und andererseits Methoden zur Erfassung kausaler mentaler Modelle auf der Grundlage der Theorie von De Kleer und Brown (1983) zu untersuchen (Klostermann, 2006).

In einem zweiten Projekt werden Visualisierungsmöglichkeiten von geschätzten Prozessgrößen entwickelt und überprüft (Barz, Huss & Wozny, 2006). Die Schätzungen werden dort von einem Computer anhand eines physikalischen, in Form von Differentialgleichungen vorliegenden Modells vorgenommen. Eine Herausforderung stellt dar, einerseits den Anlagenoperator mit möglichst wenig verwirrenden Details über diese Form von Zustandsschätzung zu konfrontieren, andererseits ihn mit so viel Information auszustatten, wie für den Aufbau eines mentalen Kausalmodells über den Zustandsschätzer notwendig ist. Relevante Komponenten sind hier u. a. die Genauigkeitsparameter der Messabnehmer und des Prozessmodells.

Zur formativen Evaluation einer prototypischen Trend-basierten Suchmaschine soll das Mikrowelt-Szenario im Rahmen einer dritten Studie genutzt werden (Huss, Stefens & Urbas, 2006). Hier werden die Methoden zum Erwerb mentaler Kausalmodel-

le genutzt, um die Versuchspersonen möglichst effizient auf ein homogenes Level an Systemwissen heranzuführen.

Um eine Übertragung der Workshopergebnisse auf diese Forschungsvorhaben zu ermöglichen, wurde das innerhalb der Mikrowelt PE/SSE bereits zu großen Teilen implementierte Szenario „Destillationsprozess in einer Rektifikationskolonne“ für den Workshop ausgewählt. Die Destillation ist ein thermischer Trennprozess, welcher die unterschiedlichen Siede- und Taupunkte der Komponenten eines Flüssigstoffgemischs ausnutzt. Bei einer Rektifikationskolonne wird der Destillationsprozess mehrfach auf sog. Kolonnenböden durchgeführt (Abbildung 2). Derartige Böden sind mit Öffnungen ausgestattet, welche die Dampfphase von unten eindringen lassen. Die Flüssigkeit fließt dagegen über den Bodenrand die Kolonne hinab. Auf jedem Boden unterscheiden sich die Stoffkonzentrationen von Flüssig- und Gasphase. Darüber hinaus findet die Destillation auf jedem Boden auf Basis einer anderen Ausgangskonzentration statt. Im oberen Teil der Kolonne wird das Gemisch durch den Leichtsieder dominiert, im unteren Teil durch den Schwersieder. Ziel ist es, möglichst reine Stoffe am oberen und unteren Kolonnenteil abzuziehen. Diese Reinheit wird u. a. durch die Anzahl und Beschaffenheit der Kolonnenböden determiniert.

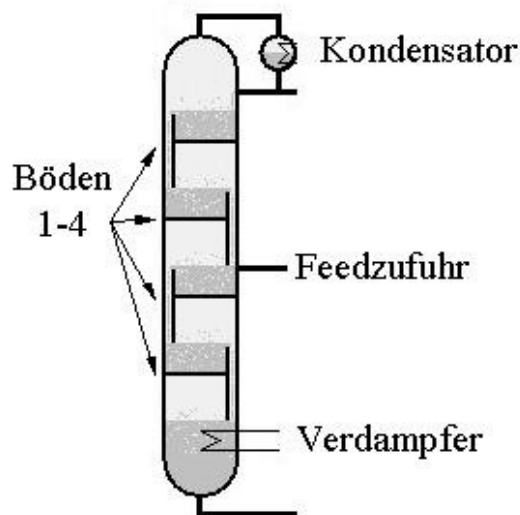


Abbildung 2: Rektifikationskolonne. Die Flüssigkeit ist hellgrau dargestellt. Die Gasphase ist mit weißen und grauen Punkten verbildlicht.

Als Sonderfall der Destillation kann die Trennung eines azeotropen Gemisches gesehen werden, da hier bei einer bestimmten Konzentration (*Azeotroper Punkt*) die Zusammensetzung des Stoffgemisches in der Flüssigkeit und der Gas-Phase die gleiche Qualität aufweist. Hier würde auch keine erhöhte Anzahl an Kolonnenböden abhelfen. Als Lösung gilt ein Zwei-Kolonnen-System, bei welchem die zweite Kolonne unter erhöhtem Gasdruck betrieben wird (z. B. 4 Bar). Dies ermöglicht die Destillation auf beiden Seiten des azeotropen Punktes.

Als experimentelles Aufgabenszenario wurde die Druckregelung der Hochdruckkolonne gewählt (Abbildung 3). Die Druckregelung erfolgt dabei vor allem über die Kondensatorleistung bzw. über den Wärmeaustausch Q . Wesentlich für den Kondensator ist der Kühlkreislauf. Mehrere Größen beschreiben den Prozess. Für unsere Aufgabe lassen sich der Druck p und der Produktabzug V_p als die zwei Zielgrößen benennen. Der Druck muss zur Stabilisation der Kolonne konstant gehalten werden.

Der Produktabzug muss ebenfalls konstant gehalten werden (z. B. 30l/s), da ein Nachfolgeprozess einen möglichst konstanten Zufluss benötigt. Es gibt mehrere Störgrößen, die auf das Subsystem Kondensator Einfluss nehmen. Abhängig von den Prozessen in der Kolonne verändert sich Temperatur (T_d) und Menge (V_d) des zuströmenden Dampfes. Das Kühlwasser wird aus der Umwelt entnommen und unterliegt darum nicht beeinflussbaren Schwankungen. Als Eingriffsmöglichkeiten stehen die Zuflussregelung des Kühlwassers V_{kin} , sowie die Abflussregelung des Produktes zur Verfügung. Die verbleibenden Prozessgrößen (T_k , L , T_{kout} , Q) werden durch die Stör- und Eingriffsvariablen determiniert und beeinflussen zum Teil (L , Q) die Zielgrößen. Für die weitere Betrachtung des Subsystems vernachlässigen wir den Rücklaufstrom V_r in die Kolonne und halten ihn konstant.

Zielgrößen:

Kolonnenndruck (p), Produktabzug (V_p)

Störgrößen:

Dampfstrom (V_d), Dampftemperatur (T_d),
Kühlwassereingangstemperatur (T_{kin})

Eingriffsmöglichkeiten:

Kühlwasserzufluss (V_{kin}), Produktabzug (V_p)

Konstante Größen:

Kolonnenrücklauf (V_r)

zusätzliche Größen („moderierende Variablen“):

Temperatur-Kondensat (T_k), Kondensatorlevel (L),
Kühlwasserausgangstemperatur (T_{kout}),
Wärmeaustausch (Q)

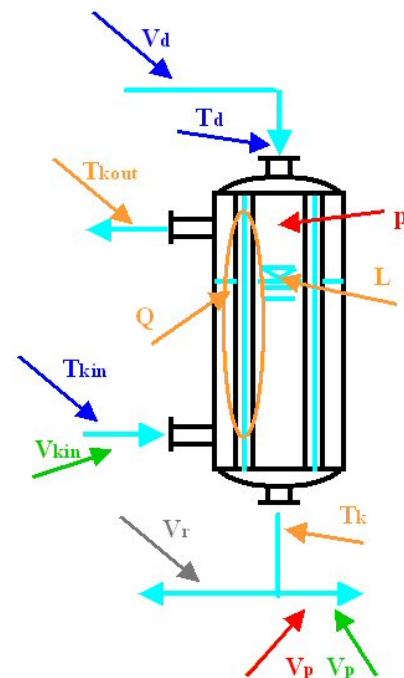


Abbildung 3: Kondensatormodell

In Anlehnung an die Theorie von De Kleer & Brown (1983) wäre zum Erwerb eines mentalen Kausalmodells über den vorgestellten Kondensationsprozess eine Topologie von Geräten möglich. Allerdings sind die Geräte (Ventile, Tank, Rohre) als Komponenten nicht wirklich hilfreich. Dagegen kann man die genannten Prozessgrößen analog zu Komponenten betrachten. Eine Topologie muss nun alle Komponenten bzw. Prozessvariablen inklusive ihrer Beziehungen aufzeigen. Ein Produkt des Envisioning-Prozesses sind die Wirkrichtungen zwischen den Komponenten des Systems sowie deren Vorzeichen. Die ist in Abbildung 4 schematisch veranschaulicht.

Die Pfade zwischen den Eingriffsgrößen und Zielgrößen sind die wesentlichen deterministischen Pfade. Der Druck lässt sich dabei über den Produktabzug und/oder Kühlwasserstrom regeln.

Regelungsstrategie 1: Erhöht man den Produktabzug, verringert sich der Level. Damit vergrößert sich die Fläche für den Wärmeaustausch zur Gasphase. Dies be-

schleunigt die Kondensation und erhöht die Kühlleistung Q . Dadurch verringert sich wiederum der Druck p .

$$V_p \uparrow \rightarrow L \downarrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow p \downarrow$$

Regelungsstrategie 2: Erhöht man dagegen den Kühlwasserstrom, verhält sich die Temperaturdifferenz konstanter über die Kondensatorfläche bzw. zwischen T_{kout} und T_{kin} . Dies verstärkt die Kondensation und die Kühlleistung Q . Daraufhin verringert sich ebenfalls der Druck p .

$$T_{kin} \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow p \downarrow$$

Ein Dilemma ergibt sich jedoch aus der Situation, dass die Eingriffsgröße „Produktabzug“ gleichzeitig eine Zielgröße darstellt. Das bedeutet, dass es taktisch klug wäre, lediglich Regelungsstrategie 2 zu fahren und den Produktabzug per Ventilstellung konstant zu lassen. Dies ist jedoch nicht immer möglich, da der Produktabzug das Vorhandensein eines Levels bedingt und die Druckregelung auf Basis des Kühlwasserstromes nur begrenzt zeitnah erfolgen kann. Der Druck hat jedoch erste Priorität, da er wesentlich zur Stabilität der Kolonne beiträgt. Sollte die Stabilität der Kolonne nicht gewährleistet sein, kann auch der Produktabzug nicht erfolgreich erfolgen.

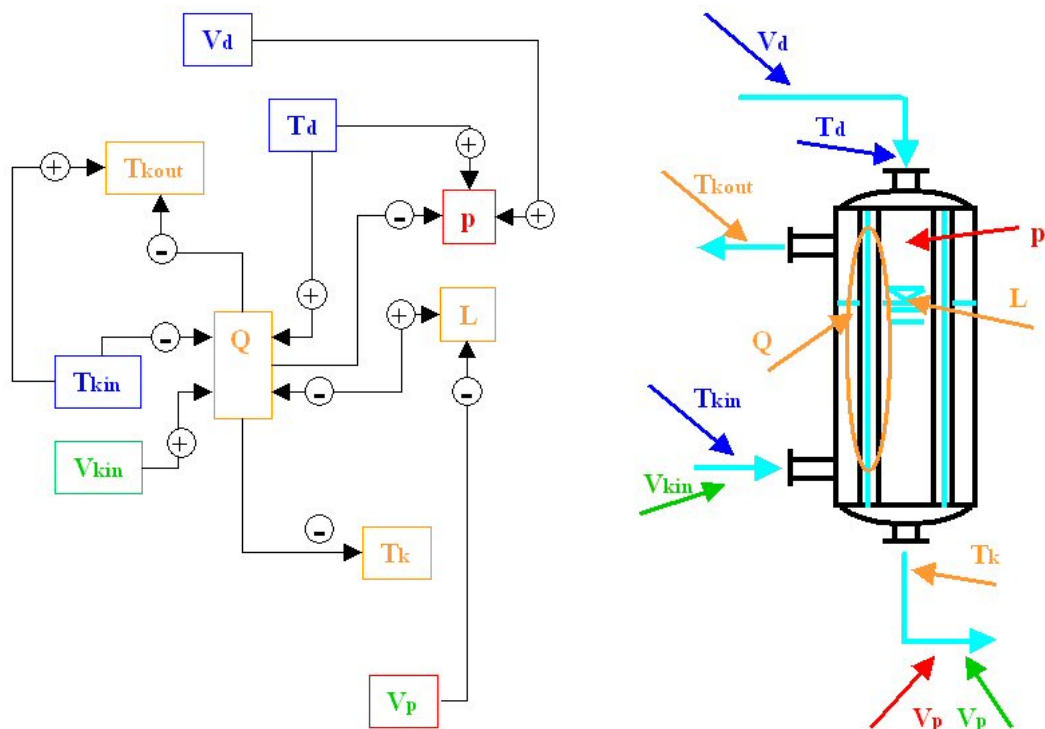


Abbildung 4: Komponententopologie des Kondensators inklusive Wirkrichtungen (linke Seite)

4. Expertenworkshop: Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Workshops vorgestellt. Insgesamt fünf interdisziplinäre Gruppen bearbeiteten unterschiedliche Aspekte der Wissensvermittlung und -diagnose. Jeder der insgesamt fünf Gruppen wurde jeweils ein Prozessführungsexperte zugeordnet.

Die Aufgabe bestand darin, Methoden a) zur Vermittlung und b) zur Erfassung von mentalen Kausalmodellen zu erarbeiten und auf das konkrete Anwendungsbeispiel „Druckregelung in einer Rektifikationskolonne“ anzupassen. Zudem sollten Vor- und Nachteile sowie Umsetzungsprobleme der einzelnen Methoden thematisiert werden. In den folgenden Absätzen werden die Ergebnisse kurz vorgestellt.

4.1 Workshopergebnisse: Methoden zur Vermittlung von mentalen Kausalmodellen

Mentale Kausalmodelle über ein zu bedienendes System werden zum einen durch das Studium von Benutzerhandbüchern, durch Schulungen oder durch Instruktionen von Ausbildern aufgebaut. Dies sollte in den Instruktionen und Trainings für Operateure berücksichtigt werden. Zu einem großen Teil werden mentale Kausalmodelle aber auch während der Interaktion mit dem System erworben. Hierfür ist die Rückmeldung von Systeminformationen über die visuelle Darstellung des Prozesses für den Aufbau eines mentalen Kausalmodells von großer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wurden zwei Workshopgruppen gebildet, die sich mit der Vermittlung von mentalen Kausalmodellen beschäftigen sollten. Gruppe 1 wurde angewiesen, sich mit Möglichkeiten der Vermittlung von mentalen Kausalmodellen durch angemessene Dialoggestaltung zu beschäftigen. Gruppe 2 sollte sich mit der Vermittlung mentaler Kausalmodelle anhand von Trainings befassen.

4.1.1 Dialoggestaltung (Gruppe 1)

In der Workshop-Gruppe wurde als eine wesentliche Aufgabe bei der Dialoggestaltung die Berücksichtigung des Hintergrundwissens des Operators diskutiert. Dies betrifft einerseits das Wissen über die Symbolik der Mensch-Maschine-Interaktion. Andererseits betrifft dies auch Wissen über die physikalischen Zustände und Zusammenhänge des technischen Systems (Systemwissen hinsichtlich Ein- und Ausgangsgrößen sowie vermittelnden Größen). Als Leitlinien bzw. Strategien für den Wissenserwerb, unterstützt durch eine angemessene Interfacegestaltung, kommen folgende Prinzipien in Frage: „start simple“, „expand on demand“, „show dynamics predictively“ (d.h. die Verzögerung muss überbrückt werden, dies ist vor allem relevant bei Prozessen mit Totzeiten. Außerdem müssen Zielwechsel angezeigt werden).

Ebenfalls wesentlich ist die Auseinandersetzung mit der Darstellungsproblematik: Wie vollständig sollten Zusammenhänge dargestellt werden? Ein Optimum hierfür muss gefunden werden. Das Minimum wäre die Darstellung der Ein- und Ausgangsgrößen. Ebenfalls ist zu klären, wie prädiktive Anzeigen dargestellt werden sollten.

4.1.2 Traininggestaltung (Gruppe 2)

Laut den Ergebnissen aus der Teamarbeit in Gruppe 2 kann bei der Trainingsgestaltung grundsätzlich zwischen der induktiven und der deduktiven Form unterschieden werden.

Bei der induktiven Trainingsgestaltung ist es zunächst wichtig, einen Kontext herzustellen. Dies kann beispielsweise in Form von Anwendungsbeispielen geschehen. Für das Gesamtsystem oder einzelne Systemkomponenten müssen die Zusammenhänge erklärt, visualisiert und interaktiv erlebbar gemacht werden. Das interaktive Erleben geschieht durch ein sukzessives Erweitern bzw. Hinzunehmen von Prozessgrößen (erst werden Zweierbeziehungen vermittelt, dann Dreierbeziehungen, etc.).

Eine Trainingsgestaltung der deduktiven Art stellt zuerst das System im Überblick vor, anstatt dass einzelne Systemkomponenten und deren Verbindungen vermittelt werden. Das Aktivieren von Erfahrungen geschieht dann anhand von vorgegebenen Analogien aus bereits bekannten Domänen.

4.2 Workshopergebnisse: Methoden zur Erhebung von mentalen Kausalmodellen

Obwohl eine Vielzahl an Methoden zur Wissensdiagnose existiert, ist nach wie vor fraglich, inwieweit Wissen in Form von mentalen Kausalmodellen vollständig erfasst werden kann. Zum einen liegt dies daran, dass sich räumliche, visuelle Bestandteile von mentalen Kausalmodellen nur schwer verbalisieren lassen.

Mentale Kausalmodelle sind per Definition auch nicht direkt beobachtbar. Es lassen sich aber über Verbalisierungsmethoden, Befragungsmethoden sowie über die Erhebung von Leistungsdaten Rückschlüsse auf die Güte des mentalen Kausalmodells ziehen.

Vor diesem Hintergrund wurden drei Gruppen beauftragt, aus einem jeweils anderen Ansatz heraus leistungsfähige Methoden zur Erhebung von Kausalen Mentalen Modellen über die Rektifikationskolonne vorzuschlagen.

4.2.1 Verbalisierungsmethoden (Gruppe 3)

Mentale Kausalmodelle lassen sich mit verschiedenen Verbalisierungsmethoden ermitteln. Beispielsweise sieht die „Methode des Lauten Denkens“ vor, dass der Proband während der Ausführung seiner Aufgabe dem Versuchsleiter seine Gedanken mitteilt. Kennzeichen des „Retrospektiven Interviews“ ist eine Befragung des Probanden im Anschluss an die Aufgabenausführung. Weitere Verbalisierungsverfahren sind das Strukturierte Interview, Fehleranalyse-Verfahren, die „Critical-Incidents-Technik“ sowie die Methode der Introspektion. Diese Methoden lassen sich nach unterschiedlichen Dimensionen klassifizieren. Zum einen können sie danach unterteilt werden, ob sie eine Experten- oder eine Novizenbefragung vorsehen. Auch lassen sie sich hinsichtlich der Aufgabenspezifität klassifizieren. Der Aufwand der Durchführung ist ein weiterer Faktor, anhand dessen die Methoden unterschieden werden können. Ebenfalls lassen sich die Methoden danach klassifizieren, inwieweit die erzielten Ergebnisse generalisierbar sind. Die generellen Vorteile dieses methodischen Ansatzes sind zum einen die ökonomische Datengewinnung sowie die hohe ökologische Validität im Vergleich zu einem Experiment. Außerdem sind im Falle von Verständnisproblemen auf Seiten des Versuchsleiters sowie auf Seiten der Probanden Warum-Fragen möglich. Ein generelles Problem bei Methoden der vorgestellten Art ist allerdings, implizites Wissen abzufragen. Hinzu kommt, dass die Auswertung sehr aufwendig ist, häufig nur unvollständig vollzogen werden kann, und dass die Ergebnisse unter mangelnder Objektivität leiden. In der Teamarbeit wurde ein Vorschlag für eine mögliche Kombination der Methoden ausgearbeitet, um die jeweiligen Nachteile zu überwinden: die Verbindung von einem strukturierten retrospektiven Interview mit der „Freeze“-Technik.

4.2.2 Visualisierungsmethoden (Gruppe 4)

Diese Gruppe stellte die „Strukturlegetechnik“ und die „freie Visualisierung anhand von Skizzen oder Topologien“ als die beiden wesentlichen Visualisierungsmethoden

einander gegenüber. In der unten stehenden Tabelle sind die qualitativen Vergleiche hinsichtlich der Vor- und Nachteile jeder Methode dargestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1

	Strukturlegetechnik	freie Visualisierung
Vorteile	gute Vergleichbarkeit	besseres Matching zwischen mentalem Modell und Visualisierung
	leichtere Durchführbarkeit	Trainingseffekt inklusive
	schnell (Vorbereitung, Durchführung)	deckt Fehler im mentalen Modell auf
	geringe Schwelle für Proband	unabhängig von Vorstellungen des Versuchsplaners
Nachteile	eingeschränkte Validität → Lücken im mentalen Modell können übersehen werden → anderer Prozess zum Zusammenfügen der vorgegebenen Komponenten	eigentlich repräsentierte Komponenten ohne Prozesse können nicht abgerufen werden
	verschiedene Freiheitsgrade für die zu legenden Komponenten	interindividuelle Unterschiede im Schwierigkeitsgrad erschwerter Vergleichbarkeit

4.2.3 Erhebung von Leistungsdaten (Gruppe 5)

Vor dem Hintergrund, dass die Regelung des Kolonnendrucks als Primäraufgabe für das Mensch-Maschine-System angesehen wird, unabhängig davon, ob nun die Regelung im Normalfall von einer Automatik oder „per Hand“ erfolgt, wurden folgende Empfehlungen für ein Untersuchungsszenario erarbeitet:

An erster Stelle steht die hypothesengerichtete Erstellung von Testszenarien mit definierten Störfällen. Danach sollten ein oder mehrere normative(s) Verhaltensmodell(e) für die Testszenarien entworfen werden. Dies kann sowohl auf Basis von explorativen Beobachtungen als auch anhand analytischer Modellierung erfolgen.

Nun können Erhebungen mit Versuchspersonen durchgeführt werden. Dabei können Fehlerszenarien grundsätzlich per Mikrowelt-Simulation sowie per Fragebogen bearbeitet werden. Die Regelung von dynamischen Prozessen mit unterschiedlichen Zeitkonstanten und Totzeiten verlangt jedoch auch ein Systemwissen um die zeitlichen Dynamiken. Dies lässt sich am ehesten über Latenzzeiten in der direkten Interaktion mit der Mikrowelt erheben. Da Latenzzeiten unterschiedliche Ursachen haben können, wird insbesondere die *Erhebung von Blickbewegungs- und Interaktionsdaten* angeraten.

Die Leistungsdaten sind nicht eindeutig und direkt auf die Ausprägung der Güte von Mentalen Modellen zurückzuführen. Vielmehr sind sie mit persönlichen Strategien, Instruktionsverständnis und Vorwissen konfundiert. Deshalb wird eine Kombination

mit Erhebungsverfahren verlangt, die einen direkteren, wenn auch weniger objektiven Zugang zum kausalen Systemwissen ermöglichen.

4.3 Bewertung der Ergebnisse

Die interdisziplinären Workshop-Teams haben eine Vielzahl von Ideen zur Vermittlung und Erfassung kausaler mentaler Modelle generiert. Die Ergebnisse beziehen sich in der Regel allerdings nicht auf das Anwendungsszenario der Destillationskolonne. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass es sehr schwierig ist, innerhalb einer so kurzen Zeit ein notwendiges grundlegendes Verständnis von einem so komplexen System aufzubauen, dass es einem ermöglicht, Methoden darauf anzuwenden. Dies verdeutlicht allerdings auch die Notwendigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit von Psychologen und Ingenieuren, sowohl bei der Entwicklung von Trainings und Interfaces, als auch bei der Gestaltung der Wissensdiagnose bei Operateuren. Die Psychologen sollten dabei als Fachleute für Methoden das Handwerkszeug zur Wissensvermittlung und –ermittlung in komplexen dynamischen Systemen liefern, während es die Aufgabe der Ingenieure ist, mit ihrem fachspezifischen Wissen diese Methoden auf Praktikabilität und Anwendbarkeit zu prüfen und sicherzustellen, dass die Probleme der Wissensvermittlung und Kontrolle anwendungsnah gelöst werden können.

4.3.1 Methoden zur Vermittlung

Trainingsmethoden sind ebenso bedeutsam wie Visualisierungsmethoden. In jedem Fall bleibt anzuraten, dass Psychologen gemeinsam mit Ingenieuren Trainings- und Visualisierungsmethoden zur Vermittlung Kausaler Mentaler Modelle entwickeln, da auf diese Weise eine ganzheitliche Wissensvermittlung angestrebt wird.

4.3.2 Methoden zur Erfassung

Abschließend lassen sich die Ergebnisse aus dem Workshop dahingehend interpretieren, dass es nach wie vor nicht die Methode der Wahl zu geben scheint, mit denen sich Kausale Mentale Modelle ermitteln lassen. Ein Methodenmix scheint nach wie vor die geeignete Lösung zu sein, vor allem vor dem Hintergrund, dass hierdurch am ehesten die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden überwunden werden können.

5. Ausblick

Im ersten Forschungsprojekt werden die Ergebnisse des Workshops in die Planung und Durchführung der experimentellen Untersuchungen einfließen. Zur Ermittlung von Kausalen Mentalen Modellen der Destillationskolonne wird auf der Grundlage der Theorie von De Kleer und Brown (1983) ein umfassendes Methodeninventar entwickelt. Das Wissen über die Komponenten des Systems wird dabei durch eine an die Strukturlegetechnik angelehnte Methode erfasst. Ferner werden Verbalisierungstechniken wie z.B. das Strukturierte Interview eingesetzt, um Komponentenmodelle von Probanden zu ermitteln. Die Freeze-Technik eignet sich gut zur Ermittlung des Wissens bei Störungsdiagnosen und wird daher ebenfalls zum Einsatz kommen. Um eine möglichst ganzheitliche Ermittlung der Kausalen Mentalen Modelle sicher zu stellen, werden die vorgestellten Methoden durch die Erfassung von Leistungsdaten ergänzt. Die Workshopergebnisse zur Vermittlung von mentalen Kausalmodellen

werden in experimentellen Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Interface-Designlösungen eingesetzt. Vor allem wird dabei auf die Darstellungsproblematik Bezug genommen, indem getestet wird, wie viel respektive wenig Information (d.h. wie vollständig bzw. unvollständig sind Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten dargestellt?) dem Operateur notwendigerweise zur Verfügung stehen muss, um ein angemessenes mentales Kausalmodell zu entwickeln.

Im zweiten Forschungsprojekt werden vor allem die Ergebnisse zur Dialoggestaltung Berücksichtigung finden. Anhand einer Aufgabenanalyse lässt sich das Hintergrundwissen hinsichtlich MMI-Symbolik, Prozesswissen und Automatisierungswissen eines Operateurs des Mikroweltszenarios definieren. Ausgehend davon lassen sich dann sowohl Startkonfigurationen (start simple) als auch abrufbare Zusatzinformationen (expand on demand) des Interface ableiten. Der den Workshop-Experten geäußerte Bedarf an Prozessprädiktion wird anhand der Zustandsschätzung ohne Messwertvalidierung umgesetzt. Die dabei auftretende Frage nach der Visualisierung kumulierender Fehlerwahrscheinlichkeiten wird zu klären sein.

Für Forschungsprojekt drei sind vor allem die Ergebnisse der Gruppe 2 zur Trainingsgestaltung hilfreich. Aus diesen wird der Bedarf an einer modellbasierten interaktiven Simulation des Kondensators deutlich, anhand welcher die zuvor anhand einer Topologie erklärten Systemkomponenten sukzessiv in kausaler Interaktion erlebbar werden (induktives Vorgehen).

6. Danksagung

Unser Dank gilt allen Teilnehmern der Frühjahrsschule des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS), welche vom 06. bis 10. März 2006 im Spreewald stattfand. In diesem Zusammenhang ist im Besonderen der Geschäftsstelle des ZMMS für die professionelle Organisation zu danken.

Die Autoren promovieren im Rahmen des dankenswerter Weise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkollegs prometei.

7. Literatur

- Barz, T., Huss, J. & Wozny, G. (2006). *Visualisierung modellbasierter Prozessgrößen in der verfahrenstechnischen Leitwarte*. Ueware 2006 - Nutzergerechte Gestaltung technischer Systeme, VDI Fachtagung.
- De Kleer, J. und Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner and A.L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (S. 155-190). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen: Hogrefe.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Huss, J., Steffens, C. & Urbas, L. (2006). Gebrauchstauglichkeit bei der Gestaltung von Mensch-Technik-Systemen in der Prozessführung. *Automatisierungstechnische Praxis*, 48(3), 36-41.
- Klostermann, A. (2006). Erwerb von Kausalen Modellen bei Prozesskontrolltätigkeiten und Implikationen für Usability-Gestaltungsempfehlungen. *Innovationen für Arbeit und*

Organisation. Bericht zum 52. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 20.-22. März 2006, 711-714.

Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13(3), 257-266.

Rouse, W.B. & Morris, N.M. (1986). On looking into the Black Box: Prospects and Limits in the Search for Mental Models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349-63.

Urbas, L. (1999). *Entwicklung und Realisierung einer Trainings- und Ausbildungsumgebung zur Schulung der Prozessdynamik und des Anlagenbetriebs im Internet*. Düsseldorf: VDI-Verlag.