

# Arbeitskreis: Einsatz von Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen – Transparenz gestalten

MARTIN CHRISTOF KINDSMÜLLER, SANDRO LEUCHTER & LEON URBAS

MoDyS Research Group, ZMMS, Technische Universität Berlin.

*In diesem Arbeitskreis wurde eine moderierte Diskussion zu Aspekten des Einsatzes von Menschmodellen für den Entwurf von Mensch-Maschine-Systemen geführt. Ergebnis ist ein aktueller, wenn auch beschränkter, Überblick über den Einsatz und die Problematik von Modellierungsmethoden sowie ein Maßnahmenbündel, um sie voranzutreiben.*

## 1. Einleitung

Ein Modell eines Systems wird aufgrund eines konkreten Bedarfs, der Problemstellung (s. Bild 1), entwickelt. Über ein konzeptionelles Modell (Norman 1983), das möglicherweise auch nur implizit, d.h. im Kopf des Modellierers, bei der Formulierung eines konkreten formalen Modells vorhanden ist, wird ein mathematisches Modell erzeugt. Der Modellzweck liegt zumeist nicht nur in der Beschreibung des Systems, beispielsweise zur Dokumentation oder um sicher darüber kommunizieren zu können. Stattdessen sollen Simulationsexperimente einen Einblick in das Verhalten für gegebene Bedingungen ermöglichen. Dazu muss eine ablauffähige Version dieses Modells z.B. in Form eines Computerprogramms entwickelt werden, mit dem in Simulationsläufen Ergebnisse für diese Bedingungen generiert und interpretiert werden. Aus Bild 1 wird weiterhin deutlich, dass es sich um einen rückgekoppelten Prozess handelt, bei dem die Überprüfung und Interpretation der Ergebnisse eines Arbeitsschrittes mögliche Nachbearbeitung erfordern. Insbesondere durch die Auswirkungen der Simulationsergebnisse auf die Problemstellung ist die Modellierung ein zyklischer Prozess.

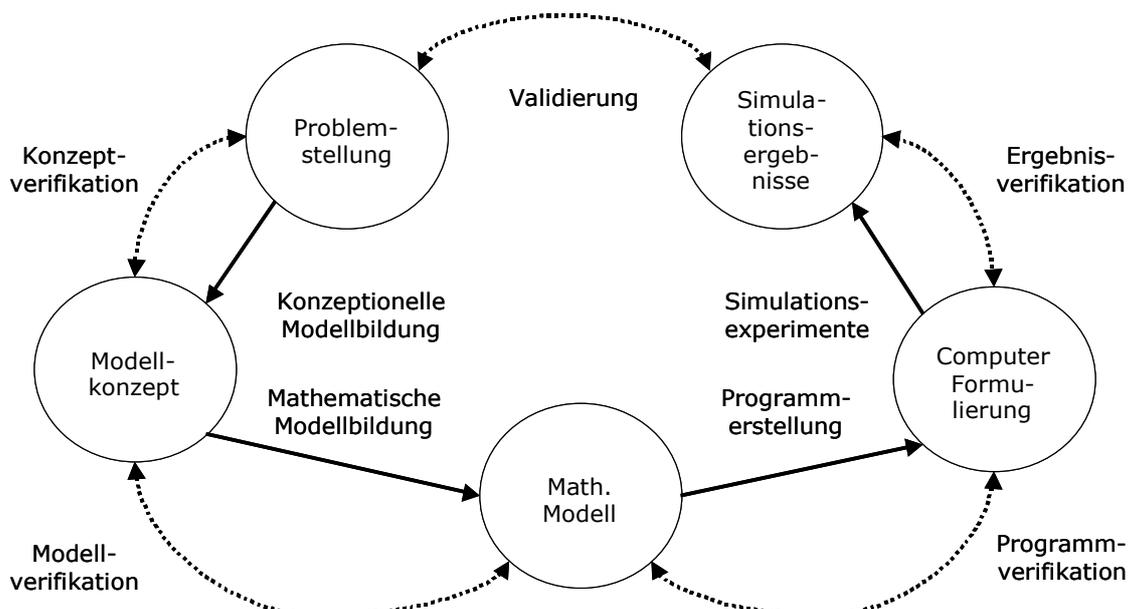


Bild 1: Modellbildung und Simulation (nach Bub & Lugner 1990).

Doch wie kann dieser Prozess genutzt werden, um Transparenz in Mensch-Maschine-Systemen zu gestalten? Bereits in sehr frühen Phasen des Entwurfs technischer Systeme wird – gewollt oder ungewollt – festgelegt, wie transparent sich das System darstellen wird. Die Anforderungen an die kognitive Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der Bediener, die zum Funktionieren des Gesamtsystems notwendig sind, werden jedoch oft nicht explizit definiert.

In diesem Arbeitskreis sollen deshalb Modelle menschlichen Verhaltens in Mensch-Maschine-Systemen im Vordergrund stehen. Es gibt für die Simulation solcher Menschmodelle jedoch ganz unterschiedliche Problemstellungen, die auch die Modellierung beeinflussen müssen. Wie auch die Ergebnisse des Arbeitskreises zeigen, kann eine Vielzahl von Ansätzen gewählt werden: Es können deskriptive Modelle der Physiologie von Bedienern, der kognitiven Vorgänge von Benutzern oder auch normative Modelle von Arbeits- oder Bedienabläufen eingesetzt werden, um Fragen der Systemgestaltung zu beantworten. Oft steht die Frage nach Bedienfähigkeiten oder Kapazitätsgrenzen im Vordergrund der Systemgestaltung, um den Möglichkeitsraum von denkbaren Systementwürfen einzugrenzen.

Es ist in der Systementwicklung oft notwendig, das Maß der Bedienbarkeit oder Effektivität von konkurrierenden Prototypen zu vergleichen. Dieses wird normalerweise durch Nutzertests erhoben. Stehen jedoch Computerimplementierungen der Entwürfe in frühen Phasen zur Verfügung, können je nach Umfeld möglicherweise Entwicklungskosten gespart werden, wenn Alternativen in solch frühen Phasen mit *simulierten* Nutzern – bzw. einer Simulation ihres Verhaltens – getestet werden können.

Weitere Einsatzmöglichkeiten von Menschmodellen und deren Simulation ergeben sich in Unterstützungssystemen oder bei der Trainingsgestaltung. Wegen der mitunter schwierigen Abgrenzung des Modellierungszweckes wurden im Arbeitskreis auch solche Anwendungszusammenhänge erörtert, der Fokus liegt jedoch auf dem Einsatz von Modellierung in der Systemgestaltung.

Hier war uns besonders an Erfahrungen und Meinungen aus der betrieblichen Praxis und deren Abgleich mit aktuellen Entwicklungen aus dem universitären Bereich gelegen. Durch die in etwa paritätische Zusammensetzung des Teilnehmerkreises aus Industrie und Hochschule konnte diese Zielsetzung gut erfüllt werden. Auch durch die Vielzahl der vertretenen Disziplinen (u.a. Arbeitswissenschaft, Design, Informatik, Ingenieurwissenschaft und Psychologie) mit ihrem unterschiedlichem Vokabular über, und ihren unterschiedlichen Auffassungen von Modellierung gestaltete sich der Austausch – wenn auch nicht ohne Reibungsverluste – vielseitig und für die Beteiligten bereichernd.

## **2. Zielstellung und Vorgehen**

Während die Entwicklung technischer Prozesse – auch heute schon – vielfach durch Modelle und Simulationswerkzeuge unterstützt wird, wird diese Methode für die Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion noch vergleichsweise wenig eingesetzt. Ziel dieses Arbeitskreises war es, mögliche Barrieren eines solchen Einsatzes zu identifizieren und Maßnahmen zu generieren, um diese Barrieren zu überwinden. Daraus ergab sich die Fragestellung, wie die betriebliche Praxis in

diesem Bereich aussieht und wie sich die Randbedingungen des Einsatzes dieser Methode darstellen. Folglich sollen Anforderungen abgeleitet werden und der Entwicklungsbedarf an Theorien, Modellen und Simulationswerkzeugen definiert werden.

Nach einem kurzen Einführungsvortrag, zur Motivierung der Fragestellung, wurden Erfahrungen mit dem Einsatz von Menschmodellen bei den Teilnehmern erfragt. Es schloss sich eine zweistufige Diskussion an, in deren erstem Teil insbesondere auch die Teilnehmer ohne Modellierungserfahrung, die ja aufgrund ihrer Teilnahme an diesem Arbeitskreis zumindest Interesse an Modellierung bekundet hatten, Wünsche, Erwartungen und Befürchtungen bezüglich des Einsatzes von Menschmodellen äußern konnten. Jeder Teilnehmer bewertete am Ende dieses ersten Teils der Diskussion die gesammelten Beiträge, indem die jeweils wichtigste (positive) Erwartung und Befürchtung markiert wurden. Im zweiten Teil der Diskussion wurden anschließend Maßnahmen generiert und diskutiert, wie die positiven Erwartungen realisiert und wie die Risiken, die aus den Gründen der Befürchtungen erwachsen, gehandhabt werden können.

### **3. Ergebnisse**

Im den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Diskussion zusammengefasst.

#### ***3.1 Erfahrungen beim Einsatz von Menschmodellen***

Im ersten Teil des Arbeitskreises wurde von Teilnehmern über Erfahrungen mit unterschiedlichen Anwendungen der Methode „Modellierung“ berichtet:

**Produktion:** Es wurden Tätigkeitsabläufe in autonomen Produktionszellen durch Beobachtung und Interviews erhoben. Diese Aufgabenbeschreibungen wurden mit eingefärbten Petrinetzen (Jensen, 1998) formalisiert und zum Softwareentwurf herangezogen. Um in den frühen Phasen der Modellierung einen Überblick zu gewinnen, wurden UML-Modelle (unified modeling language) (Jacobson, Booch & Rumbaugh 1999) verwendet. Formalisierung und Simulation erfolgten rechnergestützt. Papiermodelle wurden in Diskussionen und zur Ableitung von Anforderungen herangezogen. Mit den verwendeten Formalismen und Werkzeugen konnte bei Modellen begrenzter Komplexität über gute Erfahrungen berichtet werden (Reuth, Künzer, Boldt & Luczak 2001).

**Streckenflugkontrolle:** Mit dem Ziel, die komplexen mentalen Prozesse von Fluglotsen zu beschreiben, wurde aufgrund von Verhaltensdaten, die mit Experimenten gewonnen wurden, ein Modell in ACT (adaptive control of thought) (Anderson & Lebiere 1999) entwickelt. Die initiale Erstellung der Modells erfolgte zunächst aus weitgehend grundlagengetriebenem Erkenntnisinteresse: „die Instrumente der Kognitionsforschung auf die Spitze treiben“, also ohne explizite Anwendungsorientierung. Erst im Nachhinein wurden Simulationen des Modells im Lotsentraining (Leuchter & Jürgensohn 2000) und zur Gestaltung von Unterstützungssystemen angewendet (Niessen & Eyferth 2001).

**Avioniksysteme:** Weil die Mensch-Maschine-Schnittstelle sehr sicherheitskritisch ist, sollten Bedienungsfehler nachvollzogen beziehungsweise vorhergesagt werden. Dazu wurde ein Modell mit Ziel-Mittel-Regeln in Prolog realisiert. Die Evaluation des Modells wird demnächst durchgeführt (Lüdtke & Möbus 2001).

**Kleine interaktive Geräte:** Zur Abschätzung von Bedien- und Lernzeiten kleiner interaktiver Geräte mit beschränkter Komplexität (wie beispielsweise Mobiltelefone, CD-Player etc...) werden während der Softwareentwicklung Systemspezifikationen semiautomatisch in GOMS-Modelle (Kieras 1999) überführt mit deren Hilfe die Bedienung modelliert wird. Dazu steht das rechnergestützte Werkzeug TREVIS (Marrenbach, Maaßen & Kraiss 2000) zur Verfügung. Im Rahmen der GOMS-Theorie und deren Beschränkungen konnten sehr gute Erfahrungen mit der frühzeitigen Evaluation von Prototypen-Spezifikationen gewonnen werden. Mit den gleichen Methoden wurden elektronische Bedienungsanleitung erfolgreich bewertet (Hamacher, Marrenbach, Zieren & Kraiss 2001).

**Callcenter:** Mit dem Ziel die Arbeitsabläufe in einem Callcenter zu analysieren und zu optimieren wurde mit Hilfe von ARIS (Scheer 1998) durch eine begleitende Beobachtung und Tätigkeitsanalyse mit strukturierten Fragebögen ein Geschäftsprozessmodell erstellt und Schwachstellen gesucht. Es zeigte sich, dass die Simulation mit solch einem Modell für diesen Zweck weniger geeignet ist.

An den referierten Beispielen zeigt sich, wie groß der nutzbringende Einsatzbereich über Domänen und Methoden ist (vergleiche Tab. 1). Sie zeigen auch, welche unterschiedlichen Arten von Modellen eingesetzt werden. Je nach Aufgabenstellung und Modellzweck ergeben sich sehr unterschiedliche

**Tabelle 1: Modellierungserfahrung der Arbeitskreisteilnehmer**

Zielsetzung	Domäne	Methode	Werkzeuge	Ergebnisse
Aufgabenbeschreibung	Produktion	Colored Petri Nets, UML	verschiedene (papier- & rechnergestützt)	Anforderungen ableiten Softwareentwurf
Modellierung komplexer Prozesse	Streckenflugkontrolle	Architekturgebundene Modellierung in ACT	ATC-R	Training & Gestaltung von Unterstützungssystemen
Rapid Evaluation	kleine interaktive Geräte	GOMS-Modellierung	GOMS, TREVIS	relativ robuste Vorhersage der Lern- & Bedienzeiten
Bedienfehler vorhersagen	Avionik	Mittel-Ziel-Analyse	PROLOG	Erklärung von Bedienfehlern
Analyse und Optimierung der Arbeitsabläufe	Callcenter	Workflow-Modellierung	ARIS	Geschäftsprozesse & Schwachstellen

Sichtweisen. Über die Formalisierung und Simulation von Arbeitsabläufen mehrerer Agenten in Geschäftsprozessen, Petrinetzen oder objektorientierten Modellen über die GOMS-Bedienmodelle bis hin zu kognitiv orientierten Bedienermodellen finden sich verschiedene Ansätze. Die Modelle haben teils normativen, teils deskriptiven Charakter. Der daraus resultierende Werkzeugbedarf ist uneinheitlich.

### **3.2 Wie übertragbar sind die Erkenntnisse zwischen den Domänen?**

Eine sehr kontrovers diskutierte Frage, die sich unmittelbar aus der Vorstellung der Einsatzerfahrungen von Menschmodellen ergab, war die Frage nach der Übertragbarkeit der Erkenntnisse zwischen den Domänen. Der schwer zu widersprechenden Aussage: „Es sind ja schließlich die gleichen Menschen die alles bedienen (können)“ standen Äußerungen erfahrener

Modellierer entgegen, die mahnten: „Wir müssen domänenspezifisch anfangen – alles andere wäre verwegen“.

Unbestritten weisen Menschen generische Eigenschaften auf, welche sich domänenübergreifend finden lassen sollten (Ernst & Newell 1969, Newell & Simon 1972). Ebenfalls unbestritten existiert domänenspezifisches Wissen, das nur relativ zur Domäne verwertbar ist (Chase & Simon 1973). Ein Großteil der Widersprüche lässt sich auflösen, indem man bei der Modellierung klar zwischen generischen und domänenspezifischen Anteilen in den Modellen unterscheidet. Eine Übertragung zwischen Modellen verschiedener Domänen ist demnach umso erfolgversprechender, je höher der generische Anteil im Modell ist, beziehungsweise je ähnlicher die modellierten Domänen sind.

Dissens herrschte über einen weiteren Vorschlag zur Verbesserung der domänenübergreifenden Modellbildung. Demnach sollte nicht versucht werden, die gesamte Interaktion eines Menschen mit dem technischen System zu modellieren, stattdessen sollten domänenübergreifend geltende Ausschnitte modelliert werden. Ergebnis wären dann Elementarmodelle spezifischer kognitiver Funktionen. Der Nutzen dieser Elementarmodelle war jedoch umstritten. Diese könnten nicht viel mehr als Zeiten und Fehlerraten liefern, die man ebenso gut und mit weniger Aufwand aus der bestehenden psychologischen Literatur entnehmen oder mit vergleichsweise billigen Experimenten bestimmen könnte.

### **3.3 Wünsche, Erwartungen und Befürchtungen**

In einer sehr fruchtbaren, wenngleich oft nicht minder kontroversen Diskussion um Wünsche, Erwartungen und Befürchtungen wurde eine Fülle von Argumenten generiert, deren Zusammenschau Stellenwert und Problematik des Einsatzes von Menschmodellen in Forschung und industrieller Praxis sehr gut widerspiegelt. So war des Einen Wunsch oft des Anderen Befürchtung, die Erwartung durch Bedienermodellierung Geld zu sparen stand der Befürchtung gegenüber, damit im Falle eines Scheiterns viel Geld „in den Sand zu setzen“.

Einigkeit unter den Anwesenden bestand hinsichtlich der Erwartung, dass Menschmodelle eine Entscheidungshilfe in der frühen Entwicklung darstellen könnten und in diesem Bereich in Zukunft eine große Rolle spielen werden. Der Aufwand dafür darf jedoch nicht zu hoch sein und es scheint, vor allem im Gegensatz zu anderen Methoden (z.B. Experiment), vergleichsweise schwierig zu sein den Aufwand im Vorfeld abschätzen zu können.

Eine vom Gros der Teilnehmenden getragene, wenn auch nicht unwidersprochene Erwartung war, dass der Einsatz simulierter Menschmodelle eine zunehmend attraktive Alternative zum „klassischen Experiment“ darstellen wird. Die Hoffungen auf simulierte Menschmodelle als Ersatz für Experimente nähren sich aus der Tatsache, dass Experimentieren vergleichsweise teuer (Versuchspersonengelder) und zeitaufwändig ist. Zudem lassen sich gerade hochkomplexe Verhaltensweisen oft nur schwer bis überhaupt nicht experimentell untersuchen. Sehr feingranulares Experimentieren führt häufig zu der paradoxen Situation, dass wir „immer mehr über immer weniger wissen“. Modellieren und Validieren der vom Modell gelieferten Verhaltensdaten sind dann die einzig verbleibende Alternative, um Aussagen mit einem größeren Gültigkeitsbereich treffen zu können (Newell 1973, 1990).

Auf der anderen Seite wurden jedoch auch Erfahrungen berichtet, nach denen experimentelle Methoden mitunter zu früh eingesetzt werden, beziehungsweise zu kurz greifen. In diesen Fällen sollte mit Modellierungsmethoden begonnen werden, um den Möglichkeitsraum so einzuschränken, dass Experimente darauf aufbauend gezielter eingesetzt werden können.

Während sich die Meinung der Arbeitskreisteilnehmer in Bezug auf die positiven Erwartungen und Wünsche hinsichtlich des Einsatzes von Menschmodellen als sehr homogen erwiesen hat, so dass sich fast 2/3 der positiven Bewertungen auf die Unterstützung der Bewertung in frühen Phasen einerseits und Simulation als Ersatz von Experimenten andererseits verteilten, stellt sich die Situation bei den Befürchtungen ganz anders dar. Hier verteilen die Anwesenden ihre Bewertungen vergleichsweise weniger einheitlich auf vier verschiedene Befürchtungen.

Als größtes Problem der Modellierungsmethoden wurde ihr beschränkter Gültigkeitsbereich angesehen. Ebenfalls befürchtet wurde ein hoher Aufwand, sowie die in vielen Bereichen eingeschränkte Anwendbarkeit von Modellierungsmethoden. Weiterhin wurde die Aussagekraft der über den Einsatz von Menschmodellen gewonnenen Daten kritisch bewertet.

Betrachtet man den gemeinsamen Kern hinter den positiven Erwartungen und den Befürchtungen, so wird deutlich, dass adäquat eingesetzte Methoden die positiven Erwartungen stützen und gleichzeitig die Befürchtungen weitgehend ausräumen können. Insgesamt setzte sich die Auffassung durch, dass es nicht den „one best way“ zur Entscheidung zwischen Experiment und Modellierung geben kann. Anzustreben ist vielmehr die Beherrschung eines integrativen Methodeninventars in dem Modellieren und Experimentieren als sich ergänzende Methoden die zentralen Rollen spielen. Anwendbarkeit, Aufwand, Aussagekraft, Gültigkeitsbereich und Kosten stellen dann Parameter dar, die *a priori* abgeschätzt werden müssen, um die adäquate Methode zu finden. Das Ergebnis dieser Abschätzung determiniert dann die Wahl zwischen experimentellen Methoden einerseits und den Modellierungsmethoden andererseits oder auch einer Kombination beider Methoden.

### **3.4 Maßnahmen**

Im letzten Teil des Arbeitskreises wurden Maßnahmen zur weiteren Etablierung von Modellierungsmethoden in Mensch-Maschine-Systemen generiert und deren Erfolgsaussichten abgeschätzt. Neben der im vorigen Abschnitt bereits angesprochenen Generalmaßnahme, nämlich der Bereitstellung eines integrativen Methodeninventars auf Basis sich ergänzender Modellierungs- und Experimentalmethoden, wurde eine Reihe begleitender Maßnahmen genannt.

So sollten zur Reduzierung von Aufwand und Kosten der Modellierung längerlebig Modelle geschaffen werden, die in der Lage sind, mehrere Produktzyklen zu überdauern. Diese Maßnahme steht damit sicher partiell im Widerspruch zur ebenfalls vertretenen Auffassung, dass versucht werden sollte, sehr kleine (*Ad-hoc*-)Modelle zu entwickeln, um mit dem geringst möglichen Aufwand Produkte evaluieren zu können. Eine Entscheidung über die Adäquatheit dieser beiden Aussagen ist eventuell über die Spezifizierung der Anwendungsdomäne möglich. Kurzlebige (*Ad-hoc*-)Modelle sollten eingesetzt werden, wenn die technische Komponente des Mensch-Maschine-Systems raschem Wandel unterworfen ist, der noch dazu starken Einfluss auf die Interaktionsprinzi-

pien ausübt. Als typische Domäne könnten hier kleine mobile Konsumprodukte (Mobiltelefone, PDAs...) genannt werden. Langlebige Modelle können stattdessen erfolgversprechend in Domänen wie Flugführung, Flugsicherung, Leitwarten, etc. zum Einsatz kommen; hier sind die Produktzyklen wesentlich länger, zudem ändern sich die Systeme von Generation zu Generation nur sehr wenig.

Eine weitere Maßnahme, die der Modellierungsmethode entscheidende Impulse liefern kann, ist die Weiterentwicklung bestehender kognitiver Architekturen wie beispielsweise ACT (Anderson & Lebiere 1999) oder Soar (Rosenbloom, Laird & Newell 1993, Newell 1990). In diesen Architekturen wurde bereits eine Fülle verschiedener Modelle aus diversen Bereichen kognitiver Leistung (von der Ausbildung von Quantifizierungsoperatoren im Kindesalter bis zum Erlernen einer Programmiersprache) implementiert und experimentell validiert. Defizite weisen diese – ansonsten erfolgversprechenden – Architekturen derzeit im Bereich dynamischer Mensch-Maschine-Systeme auf. Eine Modifizierung bestehender kognitiver Architekturen, so dass in diesen dynamische Bedienvorgänge abgebildet werden können, ohne „gegen die Architektur“ modellieren zu müssen, würde die Mensch-Maschine-System-Modellierung auf die breite Basis kognitionspsychologischer Befunde stellen, die in den kognitiven Architekturen implementiert sind.

An der an die Teilnehmer aus der Industrie gerichtete Frage „Warum wird so wenig in die Modellierung investiert“ entzündete sich eine weitere Diskussion mit zunächst wiederum sehr widersprüchlichen Vorschlägen über die zu ergreifenden Maßnahmen. Bei der Analyse der Ursachen herrschte weitgehend Einigkeit, dass es bislang noch zu wenige erfolgreiche Modellierungsprojekte gibt, die als Vorbild dienen können und eine Entscheidung für die Modellierung (deshalb) für die Entscheidungsträger zu riskant sei. Ein Teil der Teilnehmer sah als Lösungsmöglichkeit die Bildung größerer Konsortien zur gemeinsamen Entwicklung von Modellierungsmethoden, um so im vorwettbewerblichen Bereich Risiko und Kosten auf mehrere Partner zu verteilen. Diesem Vorschlag standen allerdings negative Erfahrungen anderer Arbeitskreisteilnehmer gegenüber, nach denen Effektivität und Effizienz bei der Innovation nur in überschaubaren Projekten (*task force*) mit wenigen Partnern (2-3) zu erzielen sei.

Abschließend herrschte weitgehend Einigkeit, dass der Entwicklung allgemeiner Maßnahmen enge Grenzen gesetzt sind, weil es keine allgemeinen Modelle gibt: So sind beispielsweise Modelle von Lotsen im Bereich der Streckenflugkontrolle (Niessen, Leuchter & Eyferth 1998) sehr weit von Modellen bei der Fahrermodellierung im KFZ (Jürgensohn 1998) entfernt<sup>1</sup> (Jürgensohn, Niessen & Leuchter 2000). Neben dieser domänenbedingten Unterschiedlichkeit der Modelle sind auch innerhalb einer Domäne – oder bei weitgehend vergleichbaren Domänen – Klassen von Modellen zu unterscheiden. So bedingen beispielsweise Tätigkeiten, die eine langjährige Expertise erfordern andere, Modellierungsmethoden (weil die Expertise in das Modell integriert werden muss) und damit auch andere Maßnahmen zur Förderung der Modellierung, als Tätigkeiten bei denen dies nicht der Fall ist.

---

<sup>1</sup> Dies liegt nicht ausschließlich daran, dass in verschiedenen Domänen unterschiedliche Tätigkeiten modelliert werden, sondern vor allem daran, dass sich die Modellierer bei der Modellbildung auf verschiedene Aspekte in den Tätigkeiten konzentrieren.

## 4. Ausblick

Wenn beim Thema Modellierungsmethoden zwar in Teilgebieten des Einen Wunsch die Befürchtung des Anderen darstellt und sich die Arbeitskreisteilnehmer über die zu ergreifenden Maßnahmen nicht in allen Punkten einig werden konnten, so zeigte das Interesse an und die rege Auseinandersetzung im Arbeitskreis, dass sowohl im Bereich der universitären Forschung, wie auch in der industriellen Anwendung große Hoffnungen in die Modellierungsmethoden gesetzt werden. Die Verwendung von Menschmodellen wurde im Arbeitskreis nicht in Frage gestellt, es ging vielmehr darum, der Modellierungsmethode im Kanon anderer Methoden den richtigen Stellenwert zuzuweisen.

Die Hoffnung, dass mit Hilfe der Bedienermodellierung zukünftig Probleme gelöst werden können, die experimentell nicht effizient lösbar sind, ist Motivation genug, um in die Weiterentwicklung der Modellierungsmethoden zu investieren. In wenigen Jahren sind dann, beispielsweise im Bereich der Navigationssysteme, Modelle des Blickverhaltens zu erwarten, die valide Aussagen über die „Auswirkungen eines um 10% nach oben verschobenen Displays, auf dessen Ablesbarkeit liefern können“. Heute müssen zur Evaluation eines derartigen Eingriffs verschiedene Prototypen erstellt und in langwierigen Experimentalreihen kosten- und zeitintensiv evaluiert werden.

*Diese Arbeit wird von der VolkswagenStiftung im Rahmen des Programms „Nachwuchsgruppen an Universitäten“ unterstützt.*

## 5. Literatur

- Anderson, J.R. & Lebiere, C. (1999). *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bub; W & Lugner, P. (1990). Modellbildung und Modellreduktion - Systematik der konzeptionellen Modellbildung. In F. Breitenecker, I. Troch, & P. Kopack (Hrsg.) *Simulationstechnik*. 6. Symposium in Wien, September 1990. Braunschweig: Vieweg. S. 62-66.
- Chase, W. G., and H. A. Simon. (1973). The mind's eye in chess. In W. G. Chase, (Hrsg.), *Visual Information Processing*. New York: Academic Press, S. 215-281.
- Ernst, G. & Newell, A. (1969). *GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving*. New York: Academic Press.
- Hamacher, N., Marrenbach, J., Zieren, J. & Kraiss, K.-F. (2001). Generierung normativer Benutzermodelle aus SDL-Spezifikationen. In diesem Band (S. 86 ff.).
- Jacobson, I, Booch, G. & Rumbaugh, J. (1999), *The Unified Software Development Process*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Jensen, K. (1998). An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets. In: W. Reisig and G. Rozenberg (Hrsg.): *Lectures on Petri Nets II: Applications, Lecture Notes in Computer Science Band 1492*, Heidelberg: Springer, S. 237-292.
- Jürgensohn, T. (1998). *Hybride Fahrermodelle. ZMMS-Spektrum Band 4*. Sinzheim: Pro Universitate.
- Jürgensohn, T., Niessen, C. & Leuchter, S. (2000). Bedienermodellierung: Beispiele. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn, H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch Maschine Systemtechnik – Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf: Symposium, S149-177.

- Kieras, D.E. (1999). *A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using GOMSL and GLEAN3*. University of Michigan. Artificial Intelligence Laboratory. Online-Dokument. Letzter Zugriff am 4.11.2001 unter [ftp://ftp.eecs.umich.edu/people/kieras/GOMS/GOMSL\\_Guide.pdf](ftp://ftp.eecs.umich.edu/people/kieras/GOMS/GOMSL_Guide.pdf)
- Leuchter, S. & Jürgensohn, T. (2000). A tutoring system for air traffic control on the basis of a cognitive model. In: J.L. Alty (Hrsg.), *Proceedings of the XVIII. European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*. Loughborough, UK, Oct 25-27, 1999. Group D Publications, S. 275-281.
- Lüdtke, A. & Möbus, C. (2001). Fehler in der Interaktion zwischen Pilot und Autopilot - Empirische Untersuchung und Modellierung im Rahmen einer geschichteten Anytime-Architektur. In diesem Band (S. 164 ff.).
- Marrenbach, J., Maaßen, D. & Kraiss, K.-F. (2000). Formale Methode zur Evaluierung der Gebrauchstauglichkeit von technischen Systemen. In: K.-P. Timpe, H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen. 3. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*. Düsseldorf: VDI. S. 283-296.
- Newell, A. (1973). You can't play 20 questions with nature and win: Projective comments on the papers in this symposium. In W.E. Chase (Hrsg.), *Visual Information Processing*. (S. 283-308). New York: Academic Press.
- Newell A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Niessen, C. & Eyferth, K. (2001). A Model of Air Traffic Controller's Situation Awareness. *Safety Science*, 37, 187-202.
- Niessen, C., Leuchter, S. & Eyferth, K. (1998). A Psychological Model of Air Traffic Control and Its Implementation. In F. E. Ritter and R. M. Young (Hrsg.), *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Modelling*. Nottingham: Nottingham University Press. S. 104-111.
- Norman, D. A. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner and A. L. Stevens (Hrsg.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum., S. 7-14.
- Reuth, R., Künzer, A., Boldt, T. & Luczak, H. (2001). Modellbasierte Gestaltung einer multimodalen Benutzungsschnittstelle zur Unterstützung von Greif- und Spannprozessen beim 3D-Laserschweißen. In diesem Band (S. 55 ff.).
- Rosenbloom, P.S., Laird, J.E. & Newell, A. (1993). *The Soar Papers: Readings on Integrated Intelligence, Vol. 1 & Vol. 2*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Scheer, A.-W. (1998). *ARIS – Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen*. Berlin: Springer.