

Modellierung und Simulation menschlichen Verhaltens als Methode der Mensch- Maschine-System-Forschung¹

MARTIN CHRISTOF KINDSMÜLLER, SANDRO LEUCHTER, DIRK SCHULZE-KISSING &
LEON URBAS

MoDyS Research Group, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, TU Berlin

1. Eine Standortbestimmung

Modelle und Simulationen gehören, sowohl bei der Entwicklung und Optimierung technischer Prozesse, als auch bei den technischen Anteilen der Produktentwicklung, seit langem zum Methodeninventar der Ingenieure. Die zunehmende Komplexität industrieller Prozesse sowie die damit verbundenen steigenden Anforderungen bei der Bedienung der Artefakte mit denen diese Prozesse gesteuert werden erfordern jedoch eine zunehmende Orientierung an den Möglichkeiten und Grenzen des menschlichen kognitiven Systems, in anderen Worten, die adäquate Berücksichtigung des *human factor*. Der damit einhergehende Paradigmenwechsel hin zur systemtechnischen Betrachtungsweise des Gesamtsystems aus Mensch und Maschine (vergleiche Mensch-Maschine-Systemtechnik; Timpe, Jürgensohn & Kolrep 2002) gilt in vergleichbarer Weise auch für Fahrzeuge, Luftfahrzeuge oder Konsumprodukte wie Mobiltelefone oder „Persönliche Digitale Assistenten“ (PDA). Dennoch wird Modellierung und Simulation für den Bereich des menschlichen Verhaltens innerhalb eines Mensch-Maschine-Systems, beispielsweise zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion noch vergleichsweise wenig eingesetzt.

Ziel des Artikels ist die Identifizierung potentieller Barrieren eines solchen Einsatzes und das Aufzeigen von Maßnahmen zu deren Überwindung. Gegenstand der Betrachtung ist sowohl die aktuelle betriebliche Praxis und die derzeitigen Randbedingungen des Einsatzes von Modellierungs- und Simulationsmethoden, als auch die Weiterentwicklung dieser Methoden an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Des Weiteren werden Anforderungen abgeleitet und der Ent-

¹ Dieser Artikel basiert im Kern auf Ergebnissen des Arbeitskreises „Transparenz gestalten – Einsatz von Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen“ der 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme.

wicklungsbedarf in Bezug auf Theorien, Modellierungsmethoden und Simulationswerkzeugen definiert.

2. Modellierung, Simulation, Modell

Unter Modellierung (synonym zu Modellbildung) soll im Folgenden die Erstellung eines vollständigen formalen und ablauffähigen Modells eines technischen und/oder kognitiven Prozesses verstanden werden, während Simulation (oder auch Simulationsexperiment) das „Laufenlassen“ eines solchen Modells bezeichnet.

Ein Modell eines Systems wird aufgrund eines konkreten Bedarfs, der Problemstellung (s. Abbildung 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 unter bestimmten gegebenen Bedingungen ermöglichen. Dazu muss eine ablauffähige Version dieses Modells z.B. in Form eines Computerprogramms entwickelt werden, mit dem in Simulationsläufen Ergebnisse auf der Basis wirklichkeitsanaloger Prozesse generiert werden können. Aus Abbildung 1 wird weiterhin deutlich, dass es sich bei der Modellierung 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 in der Regel ein zyklischer Prozess.

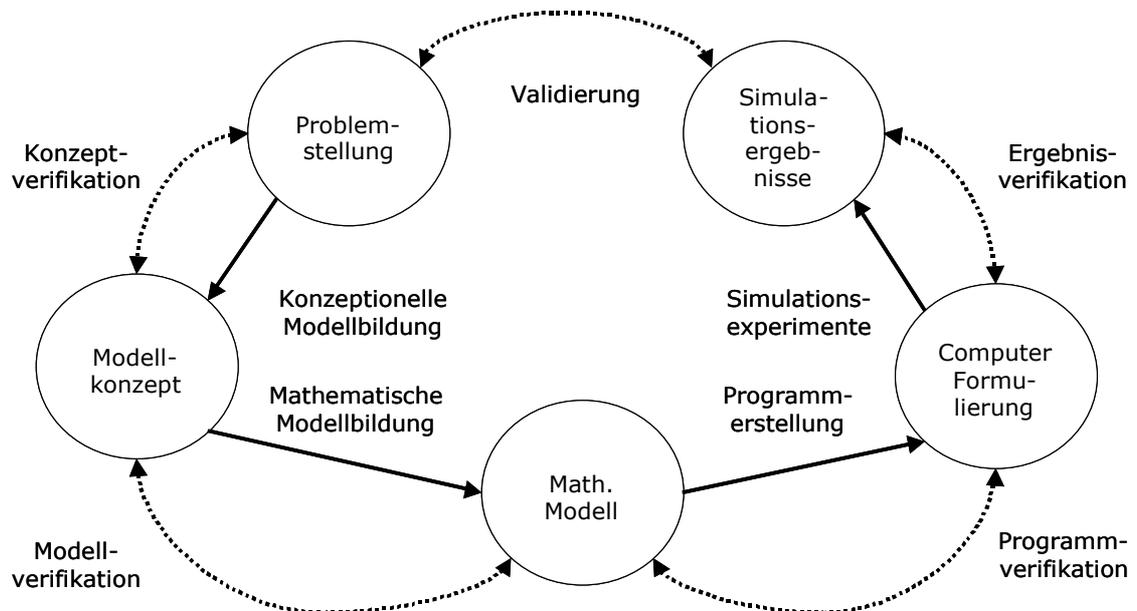


Abbildung 1: Modellbildung und Simulation (nach Bub & Lugner 1990).

Doch wie kann dieser Prozess genutzt werden, um beispielsweise die Systemtransparenz in einem Mensch-Maschine-Systemen zu erhöhen? Bereits in sehr frühen Pha-

sen des Entwurfs technischer Systeme wird – gewollt oder ungewollt – festgelegt, wie transparent sich das System darstellen wird. Selbst wenn dem Entwickler die Wirkungen von Veränderungen am technischen (Teil-)System auf dessen zukünftiges Verhalten bekannt sind, so ist dieses Wissen noch nicht ausreichend, um das zukünftige Verhalten des gesamten Mensch-Maschine-Systems zu prognostizieren. Durch Veränderungen des technischen Teilsystems werden die an die Bediener gerichteten Anforderungen, die zum Funktionieren des Gesamtsystems erforderlich sind, ebenfalls verändert. In frühen Phasen des Entwurfs wird ohne Hinzuziehen expliziter Modelle menschlichen Verhaltens das Gesamtverhalten des zukünftigen Systems daher möglicherweise falsch eingeschätzt. Dies kann zu falschen Entscheidungen bei der grundsätzlichen Systemauslegung führen, deren Effekte dann im weiteren Entwicklungsprozess möglicherweise noch kompensiert, aber nicht mehr beseitigt werden können.

Für die Simulation solcher Menschmodelle gibt es sehr unterschiedliche Problemstellungen, welche die Modellierung beeinflussen und zu einer Vielzahl von sich ergänzenden Ansätzen führen. 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 denkbarer Systementwürfe einzugrenzen.

3. Erfahrungen beim Einsatz von Menschmodellen

Dieser Abschnitt umfasst eine Sammlung von Erfahrungen und *best practices* beim Einsatz von Menschmodellen in der Mensch-Maschine-System-Forschung im deutschsprachigen Bereich. Sie ist als Ergänzung zu den in diesem *special issue* vertretenen Artikeln zu sehen. Die Sammlung orientiert sich an den Ergebnissen des Arbeitskreises „Transparenz gestalten – Einsatz von Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen“ der 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (Kindsmüller, Leuchter & Urbas 2002) und wurde um neuere – im Wesentlichen auf der 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (Steffens, Thüring & Urbas 2004) vorgestellte – Ansätze ergänzt. Ziel ist die Darstellung der Gemeinsamkeiten aber auch der Heterogenität und Vielschichtigkeit der Ansätze, ohne dass ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben würde. Ergänzend zu den

Explizit nicht enthalten sind Ansätze, die sich auf rein physische Mensch-Modelle beziehen. Einen Überblick zum Thema physische Mensch-Modelle liefern die Tagungsbände zur *Digital Human Modeling Conference* (z.B. DHMC 2002).

Produktion: Tätigkeitsabläufe in autonomen Produktionszellen wurden durch Beobachtung und mit Hilfe von Interviews erhoben. Die so entstandene Aufgabenbeschreibungen wurden mit gefärbten 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 Schmidt, Luczak & Murrenhoff 2002).

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 (1): In sehr sicherheitskritisch Bereichen wie Avioniksystemen ist es unbedingt notwendig die Bedienbarkeit von Mensch-Maschine-Schnittstelle zu optimieren. Ein Ansatz der Optimierung besteht darin Bedienungsfehler nachzuvollziehen beziehungsweise vorherzusagen. Dazu wurde ein Modell mit Mittel-Ziel-Regeln in Prolog realisiert (Lüdtke & Möbus 2002) und um eine Komponente, die das psychologische Konstrukt „gelernte Sorglosigkeit“ (Frey & Schulz-Hardt 1996) realisiert, ergänzt (Lüdtke & Möbus 2004). Simulationsexperimente des Modells, das als Kern den fehlerproduzierenden Lernprozess (gelernte Sorglosigkeit) implementiert, können die empirisch gefundenen Fehler (Kontrollstrukturverletzungen) sehr gut vorhersagen. Die Güte des Pilotenmodells ist für den zukünftigen Einsatz als Werkzeug zur Unterstützung beim Design interaktiver Systeme bereits ausreichend um zu untersuchen welche Bedienkonzepte der Gefahr unterliegen durch „gelernte Sorglosigkeit“ unzulässig modifiziert zu werden.

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 2002).

Chemische Prozessführung: Modelle von Anlagenbedienern in der chemischen Prozessindustrie sollen in Trainingssystemen eingesetzt werden, um Strategien zum Umgang mit nebenläufigen Zielen und Aufgaben sowie zum Umgang mit Zeitkonstanten und anderen Eigenarten, die aus der Dynamik der Aufgabe erwachsen, zu einzuüben. Die Modelle von erfahrenen Bedienern liefern im Sinne eines Unterstützungssystems normative Daten über situationsabhängige Gedächtnisinhalte und kognitive Vorgänge zur Adaption einer Trainingssimulation an die jeweiligen Trainees (Leuchter & Urbas 2002). Ein wesentliches Merkmal bei der Modellierung solcher Vorgänge ist der Umgang mit Zeitdauern. Untersuchungen der MoDyS-Gruppe zeigen, dass die Wahrnehmung und Verarbeitung von Zeitdauern von der kognitiven Beanspruchung bei der Bedienung abhängen (Schulze-Kissing et al. 2003). Entsprechend wird gegenwärtig an einer Erweiterung der kognitiven Architektur ACT-R/PM um eine entsprechende Zeitdauerverarbeitung gearbeitet. Mit dieser für die Modellierung von polytelischen Aufgaben wesentlichen Erweiterung wird sowohl ein Scheduling paralleler Aufgaben mit Zeitdauerbedingungen (z.B. Streckenflugsicherung), als

auch die Modellierung übergeordneter zeitdauerbasierter Aufgaben (insbesondere in der Prozesskontrolle in chemischen Anlagen) möglich.

Effiziente Modellerstellung: Um eine ingenieurmäßige Bedienermodellierung in Mensch-Maschine-Systemen zu gewährleisten, werden gegenwärtig Anstrengungen unternommen, die Wiederverwendbarkeit von Teilmodellen zu erhöhen und bessere Werkzeuge für die Modellerstellung und –interpretation zur Verfügung zu stellen. Die Wiederverwendbarkeit von Teilmodellen wird durch den sogenannten Compilation-Ansatz verbessert: Einfachere Modelle, wie sie z.B. direkt aus einer Aufgabenanalyse in GOMS vorliegen, werden durch die Anwendung von komplexen Transformationsregeln in Modelle mit einer weitergehenden Aussagekraft z.B. in ACT-R/PM transformiert (z.B. simple-act: Salvucci & Lee 2003). Eine andere Möglichkeit, die Wiederverwendbarkeit zu erhöhen ist die Bereitstellung von Teilmodellbibliotheken. Das von der MoDyS-Gruppe entwickelte agimap-System bietet eine Programmieroberfläche für die bibliotheksbasierte Modellierung der Informationsverarbeitung in displaygestützten Schnittstellen (Leuchter & Urbas in Druck). Während es für die Visualisierung von kognitiven Simulationen bereits einige Werkzeuge gibt (z.B. CaDaDis: Tor et al. 2004), ist die Visualisierung von Programmen in diesem Bereich völlig unbekannt. Aktuelle Arbeiten in der MoDyS-Gruppe zielen auf die Visualisierung der Kontrollflüsse in ACT-R-Modellen ab, um den Modellierungsprozess softwaretechnisch zu unterstützen und die Interpretierbarkeit fremder Modelle zu verbessern.

Prozessführung (Mikrowelt CAMS): Ziel der Modellierung mit Hilfe gefärbter Petrinetze (Jensen 1998) war eine Optimierung der Aufgabenallokation zwischen Mensch und Maschine, um so über eine Reduzierung der Belastung die Wahrscheinlichkeit des Auftretens menschliche Fehlleistungen zu senken (Werther 2004). Dazu wurde zunächst ein normatives Ressourcenmodell erstellt. Das Modell wird derzeit so weiterentwickelt, dass quantitative Bewertungsmetriken für mentale Belastung und *situation awareness* (Endsley 1995) so wie Interferenz- und Konkurrenzeffekte bei Mehrfachaufgaben abgeleitet werden können. Der Einsatz gefärbter Petrinetze erlaubt die Modellierung eines Mensch-Maschine-Systems als Ganzes. Die graphischen Darstellungsmöglichkeiten des Ansatzes erleichtern Verständnis und Kommunizierbarkeit des Modells.

Avioniksysteme (2): Zur Onlinediagnose von Flugführungsaufgaben zur Anwendung in Trainingsystemen wurde mit Hilfe von Data-Mining-Methoden ein Klassifikator erstellt, der für einzelne Flugabschnitte die Güte der gewählten Trajektorie beurteilt (Mehl & Köster 2004). Der Klassifikator erlaubt die Identifikation der, für die Wahl einer optimumnahen Trajektorie, ursächlichen Parameterausprägungen auf der Basis von insgesamt 16 Variablen. Ein Vergleich der vorhergesagten Parameterausprägungen einer optimumnahen Trajektorie mit den aktuell vorliegenden Parameterwerten eines Trainees erlauben es noch während einer Trainingsmaßnahme gezielt an den Defiziten des Trainees zu arbeiten

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

Tabelle 1: Möglichkeitsraum der Modellierung in Mensch-Maschine-Systemen: Ziele, Domänen, Methoden und Werkzeuge

Zielsetzung	Domäne	Methode	Werkzeuge	Ergebnisse
Aufgabenbeschreibung	Produktion	gefärbte Petri-netze, UML	verschiedene (papier- & rechnergestützt)	Anforderungen ableiten Softwareentwurf
Modellierung komplexer Prozesse	Streckenflugkontrolle	Modellierung mit kognitiven Architekturen	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
Trainingsunterstützung	chemische Prozessführung	Modellierung mit kognitiven Architekturen	ACT-R/PM	modellgestütztes Situation Awareness Training
Effiziente Modellerstellung	displaygestützte Schnittstellen	Modellierung mit kognitiven Architekturen	ACT-R/PM	agimap-Werkzeug Programmvisualisierung
Optimierte Aufgabenallokation	Prozessführung (Mikrowelt CAMS)	gefärbte Petri-netze	Design CPM	Leistungskennndaten eines kognitiven Modells bei der Abarbeitung verschiedener Handlungsfolgen
Onlinediagnose	Avionik	Data-Mining	EA-MOLE	Klassifikator für die Güte von Flugverlaufsabschnitten

3.1 Wie übertragbar sind die Erkenntnisse zwischen den Domänen?

Noch immer sehr kontrovers diskutiert wird die Frage nach der Übertragbarkeit von Methoden und Ergebnissen zwischen den Domänen. Der schwer zu widersprechenden Aussage: „Es sind ja schließlich die gleichen Menschen die alles bedienen (könnten)“ stehen mahnende Äußerungen (aus leidvollen Erfahrungen) entgegen: „Wir müssen domänenspezifisch anfangen – alles andere wäre verweg“.

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.

Ein weiterer Vorschlag zur Verbesserung der domänenübergreifenden Modellbildung, der vorsieht nicht die gesamte Interaktion eines Menschen mit dem techni-

schen System zu modellieren, sondern sich zunächst auf die domänenübergreifend geltenden Ausschnitte zu beschränken, ist derzeit ebenfalls umstritten. Ergebnis eines solchen Vorgehens wären dann Elementarmodelle spezifischer kognitiver Funktionen. Der Nutzen dieser Elementarmodelle ist jedoch umstritten; können diese doch kaum mehr als Zeiten und Fehlerraten liefern, die man ebenso gut und mit weniger Aufwand aus der bestehenden psychologischen Literatur entnehmen oder mit vergleichsweise preiswerten Experimenten bestimmen könnte.

3.2 Erwartungen an die Modellierungsmethode

Weitgehende Einigkeit besteht hinsichtlich der Erwartung, dass Menschmodelle als Entscheidungshilfe in frühen Phasen der Entwicklung eingesetzt werden 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. Der Einsatz simulierter Menschmodelle wird nicht nur in diesem Zusammenhang eine zunehmend attraktive Alternative zum „klassischen Experiment“ darstellen. 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 werden experimentelle Methoden mitunter zu früh und zu unspezifisch genutzt. In diesen Fällen könnten mit Gewinn Modellierungsmethoden zum Einsatz kommen, um den Möglichkeitsraum so einzuschränken, dass Experimente darauf aufbauend gezielter eingesetzt werden können. Probleme bei den Modellierungsmethoden werden derzeit in ihren oft beschränkten Gültigkeitsbereichen, so wie in den hohen Einstiegskosten bei gesehen.

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. Es gibt mit Sicherheit keinen „one best way“ zur Entscheidung zwischen Experiment und Modellierung. 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 legt eine Kombination beider Methoden nahe.

4. Maßnahmen zur Etablierung von Modellierungsmethoden in Mensch-Maschine-Systemen

Der Entwicklung allgemeiner Maßnahmen sind Grenzen gesetzt, 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 (Jürgensohn, Nielsen & Leuchter 2000). 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. Neben dieser domänen- bzw. tätigkeitsaspektsbedingten 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.

Es lassen sich dennoch eine Reihe eher allgemeiner Maßnahmen zur Etablierung von Modellierungsmethoden in Mensch-Maschine-Systemen ableiten. Zur Reduzierung von Aufwand und Kosten der Modellierung scheint es notwendig langlebigere Modelle zu schaffen, die in der Lage sind, mehrere Produktzyklen zu überdauern. Diese Maßnahme steht partiell im Widerspruch zur 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 Interaktionsprinzipien 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 bereits implementiert sind.

Nicht unerwähnt bleiben sollte die Tatsache, dass wegen der Diversität und Komplexität von Modellierungsmethoden (aber auch Experimentalmethoden) die gesamt

Methodenkompetenz mitunter nicht in einer Person vereinbar ist. Die deshalb notwendige Verteilung der Kompetenzen auf mehrere Spezialisten erfordert die Schaffung eines gemeinsamen Begriffsraums bzw. einer gemeinsamen Sprache. Dies kann über sorgfältige Teambildungsmaßnahmen so gestaltet werden, dass ein funktionierendes Kompetenznetzwerk aus Einzelkompetenzen entsteht.

5. Anforderungen an kognitive Modelle in der Systementwicklung

Der Einsatz von Benutzermodellen in der Systementwicklung stellt pragmatische Anforderungen an die zum Einsatz kommenden Modellierungsmethoden und -formalismen, die über den Grundanspruch einer an die Aufgabenstellung angemessenen Vorhersagegüte deutlich hinausgehen:

Kommunizierbarkeit von Modellen und Simulationsergebnissen: Die Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen ist eine interdisziplinäre Herausforderung für Designer, Ergonomen, Ingenieure und zunehmend auch Informatiker. Die Modellierung wird – wie im Technikbereich auch – sicherlich wenigen Spezialisten vorbehalten bleiben, es gilt aber wie ebendort, dass die Mechanismen, Grundannahmen und Vereinfachungen die das Verhalten des Simulationsmodells determinieren zwischen den Beteiligten kommunizierbar sein müssen.

Modellierungseffizienz: Während in der grundlagenorientierten Benutzermodellierung maximale Validität und langfristiger Erkenntnisgewinn die Zielgrößen darstellen, ist für den industriellen Einsatz die Modellierungseffizienz das ausschlaggebende Kriterium. Die Vorhersagegüte der Simulationsmodelle muss dabei lediglich der in der aktuellen Entwicklungsphase geforderten entsprechen.

Beide Zielgrößen sind nur durch einen konsequent **systemtechnisch geprägten Modellierungsansatz** erreichbar. Eine **hierarchische Dekomposition** in vernetzbare, aber für sich unabhängig behandelbare (und validierbare) Teilsysteme trägt sowohl zur Kommunizierbarkeit, als auch zur Effizienzsteigerung durch Wiederverwendung bei. Um Fragestellungen effizient beantworten zu können, muss der verwendete Modellierungsformalismus eine **variable Abbildungstiefe** zulassen, d.h. bestimmte Teilsysteme (i.e. kognitiven Prozesse) sollten für die Betrachtung nicht zwingend weiter zerlegt werden müssen. Wird die hierarchische Dekomposition/Komposition mit klar definierten Beziehungen zwischen den Teilsystemen und definierten Schnittstellen zu Teilsystemen (Gedächtnis, interne Uhr, Wahrnehmung, etc.) konsequent durchgehalten, ist darüber hinaus eine Effizienzsteigerung durch eine **hybride Modellierung** möglich, d.h. die Teilsysteme würden mit der jeweils effizientesten Methode beschrieben werden können.

6. Ausblick

Wenn beim Thema Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen zwar in Teilgebieten des Einen Wunsch die Befürchtung des Anderen darstellt, so lässt sich insgesamt doch ein zunehmendes Interesse an Modellierungsmethoden, sowohl im Bereich der universitären Forschung, wie auch in der industriellen Anwendung konstatieren. Die Verwendung von Menschmodellen wird heute in der Re-

gel nicht mehr in Frage gestellt, es geht 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.

7. 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* (S. 62-66). Braunschweig: Vieweg.
- Chase, W. G., & H. A. Simon. (1973). The mind's eye in chess. In W. G. Chase, (Hrsg.), *Visual Information Processing* (S. 215-281). New York, NY: Academic Press.
- DHMC (2002). *Digitale Mensch-Modellierung. Tagung München 18.-20. Juni 2002 Digital Human Modeling Conference*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Ernst, G. & Newell, A. (1969). *GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving*. New York: Academic Press.
- Frey, D. & Schulz-Hardt, S. (1996). Eine Theorie der gelernten Sorglosigkeit. In H. Mandl (Hrsg.), *Bericht über den 40. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (S. 604-611). Göttingen: Hogrefe.
- Hamacher, N., Marrenbach, J., Zieren, J. & Kraiss, K.-F. (2002). Generierung normativer Benutzermodelle aus SDL-Spezifikationen. In R. Marzi, V. Karavezyris, H.-H. Erbe & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Bedienen und Verstehen. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 10.-12. Oktober 2001*. (S. 86-100). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- 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* (S. 237-292). Heidelberg: Springer.
- 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* (S. 149-177). Düsseldorf: Symposion.
- 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
- Kindsmüller, M. C., Leuchter, S. & Urbas, L. (2002). Arbeitskreis: Einsatz von Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen - Transparenz gestalten. In R. Marzi, V. Karavezyris, H.-H. Erbe & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Bedienen und Verstehen. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 10.-12. Oktober 2001* (S. 318-329). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- 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* (S. 275-281). Loughborough, UK: Group D Publications.
- Leuchter, S. & Urbas, L. (in Druck). Useware Engineering mit kognitiven Architekturen. *Useware 2004, Darmstadt 22.-23.06.2004*.
- Leuchter, S. & Urbas, L. (2002). Simulation Based Situation Awareness Training for Control of Human-Machine-Systems. In Valery Petrushin, Piet Kommers, Kinshuk, & Ildar Galeev (Eds.), *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. Media and the Culture of Learning. Kazan, Russia: Sep 9-12, 2002* (S. 34-39). Palmerston North, New Zealand: IEEE Learning Technology Task Force.
- Lüdtke, A. & Möbus, C. (2002). Prognose von Bedienfehlern durch Routinebildung in teilautonomen Systemen. Konzept und empirische Untersuchung. In R. Marzi, V. Karavezyris, H.-H. Erbe & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Bedienen und Verstehen. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 10.-12. Oktober 2001* (S. 164-184). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Lüdtke, A. & Möbus, C. (2004). Überprüfung eines lernenden Pilotenmodells durch Rekonstruktion von Handlungsprotokollen. In C. Steffens, M. Thüning, & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 8.-10. Oktober 2003* (S. 160-180). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- 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* (S. 283-296). Düsseldorf: VDI.
- Mehl, K. & Köster, F. (2004). Online Diagnose von Führungsaufgaben. In C. Steffens, M. Thüning, & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 8.-10. Oktober 2003* (S. 145-159). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- 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* (S. 104-111). Nottingham: Nottingham University Press.
- Norman, D. A. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner and A. L. Stevens (Hrsg.) *Mental Models* (S. 7-14). Hillsdale, NJ: Erlbaum..
- Reuth, R., Künzer, A., Boldt, T., Schmidt, L., Luczak, H. & Murrenhoff, H. (2002). Modellbasierte Gestaltung einer multimodalen Benutzungsschnittstelle zur Unterstützung von Greif- und Spannprozessen beim 3D-Laserschweißen. In R. Marzi, V. Karavezyris, H.-H. Erbe & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Bedienen und Verstehen. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 10.-12. Oktober 2001* (S. 55-70). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Rosenbloom, P.S., Laird, J.E. & Newell, A. (1993). *The Soar Papers: Readings on Integrated Intelligence, Vol. 1 & Vol. 2*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Salvucci, D.D.; Lee, F.J. (2003). Simple Cognitive Modeling in a Complex Cognitive Architecture. In Stacey Ashlund, Kevin Mullet, Austin Henderson, Erik Hollnagel & Ted White (Hrsg.), *Human Factors in Computing Systems: CHI 2003 Conference Proceedings*. New York: ACM Press.
- Scheer, A.-W. (1998). *ARIS – Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen*. Berlin: Springer.
- Schulze-Kissing, D.; van der Meer, E. & Urbas, L. (2003). The Effect of Temporal Distortions on the Error Diagnosis in the Control of a Complex Technical System. In Theresa Bajo and Juan Lupiáñez (Eds.), *XIII Conference of the European Society of Cognitive Psychology ESCOP 2003* (S. 295-296). Granada: Actas.

- Steffens, C., Thüning, M. & Urbas, L. (2004). *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 8.-10. Oktober 2003*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Timpe, K.-P., Jürgensohn, T. & Kolrep, H. (2002). *Mensch-Maschine-Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation (2. Auflage)*. Düsseldorf: Symposium.
- Tor, K., Ritter, F. E., Haynes, S. R., & Cohen, M. A. (2004). CaDaDis: A tool for displaying the behavior of cognitive models and agents. In *Proceedings of the 13th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation* (S. 192-200). Orlando, FL: U. of Central Florida.
- Werther, B. (2004). Modellbasierte Bewertung menschlicher Informationsverarbeitung mit höheren Petrinetzen. In C. Steffens, M. Thüning & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. 8.-10. Oktober 2003* (S. 181-196). Düsseldorf: VDI-Verlag.