

## **Human Performance Modellierung mit interoperablen kognitiven Agenten**

Sandro Leuchter, Andreas Lüdtkke & Leon Urbas

### **Zusammenfassung**

Human Performance Modelle werden zunehmend für Human Factors Engineering Aufgaben eingesetzt. Ein neuer Bereich für diese Methodik ist eine Ausweitung auf verteilte Mensch-Maschine-Systeme mit mehreren Operateuren. Bei der Gestaltung und Bewertung von verteilten Mensch-Maschine-Systemen steht die Analyse von Kommunikation, Interaktion und Kooperation der Operateure untereinander und mit technischen Komponenten des Systems im Vordergrund.

Um die Gestaltung und Bewertung von verteilten Mensch-Maschine-Systemen mit Human Performance Modellen zu unterstützen, müssen bisherige Ansätze erweitert werden. Daraus leitet sich ein neues Forschungsprogramm ab, das gegenwärtig am Fraunhofer IITB, der Universität Oldenburg/OFFIS und TU Dresden bearbeitet wird. Zur Simulation von Akteuren in verteilten Mensch-Maschine-Systemen wählen wir eine verteilte Softwarearchitektur in Anlehnung an das Entwurfsmuster der Multiagentensysteme. Jeder Akteur und auch technische Komponenten, mit denen die Operateure interagieren, werden als eigenständige Agenten modelliert. Die Akteure haben unterschiedliche Aufgaben und Strategien, um sie zu erledigen. Es macht deshalb Sinn, unterschiedliche Architekturen auf der Basis von Theorien für Human Performance Modelle in das Framework zu integrieren. Das Ziel ist, die Kommunikation zwischen den Agenten (1) interoperabel und (2) von Modell-internen kognitiven Parametern wie der Beanspruchung abhängig zu machen.

Die Plattform wird anhand von Nutzungsszenarien aus den Bereichen Flugzeugführung (Interaktion zwischen Pilot-Flying und Pilot-Non-Flying), Verteidigung und Sicherheit (Informationsmanagement) und in der Leittechnik (verteilte Leitwarte, Operator-Teams) angewendet.

### **1 Ausgangslage**

Human Performance Modelle werden zunehmend für Human Factors Engineering Aufgaben eingesetzt (Gray, in press; Lüdtkke, 2005; Salvucci, 2001; Urbas & Leuchter, 2005).

Die praktische Anwendbarkeit dieser kognitionswissenschaftlich und ergonomisch fundierten Frameworks war jedoch lange Zeit nicht gegeben. Sie waren als

Forschungsinstrumente gedacht. In den letzten Jahren hat die Forschung eine Reihe von Problemen dieser Modelle adressiert, die einen anwendungsorientierten Einsatz behindert hatten:

- Modellierung wissensbasierten Handelns,
- Anschluss an externe Aufgabenumgebungen (Simulationen),
- Einbeziehung von Wahrnehmung und Handlung,
- Erfassung von Timing, Multitasking und homeostatischen Ziele,
- Software Engineering: Entwicklungs- und Modellierungsumgebungen,
- Software Engineering: von der Aufgabenanalyse zu „Modellierungsassembler“ (Ritter et al., 2006)
- Wiederverwendbarkeit von Teilmodellen

Der nächste logische Schritt ist eine Ausweitung auf verteilte Mensch-Maschine-Systeme mit mehreren Operateuren. Das betrachtete System besteht hier aus mehreren Bedienern in unterschiedlichen Rollen und mit unterschiedlichen Aufgaben. Es gibt dementsprechend auch mehrere Benutzungsschnittstellen zum technischen System. Man muss bei einer Analyse von Arbeitsprozessen in verteilten Mensch-Maschine-Systemen aber nicht unbedingt von einer 1:1-Zuordnung von Operateur, Aufgabe und Interaktionssystem ausgehen. Vielmehr liegen in vielen verteilten Mensch-Maschine-Systemen flexible Strukturen vor, wo ein Operateur die Aufgaben eines anderen bei Bedarf übernehmen kann.

Bei der Gestaltung und Bewertung von verteilten Mensch-Maschine-Systemen steht die Analyse von Kommunikation, Interaktion und Kooperation der Operateure untereinander und mit technischen Komponenten des Systems im Vordergrund (Timpe & Jürgensohn, 2000).

Die Effizienz von solchen vernetzten Abläufen wird bereits umfangreich durch die Modellierung von Abläufen mit Werkzeugen und Methoden des Business Process Re-Engineering betrieben. Die Effektivität und auch die Effizienz solcher vernetzter Abläufe sind aber auch ganz wesentlich von Human Factors abhängig. Bei den existierenden Modellen der Wirtschaftsinformatik werden solche Faktoren durch probabilistische Modelle angenähert, die den Nachteil haben, dass sie keine Kontextinformationen über die Ausprägung der Situation und den Inhalt der Kommunikation berücksichtigen.

## **2 Zielstellung**

Um die Gestaltung und Bewertung von verteilten Mensch-Maschine-Systemen mit Human Performance Modellen zu unterstützen, muss an dieser Stelle eine Erweiterung bisheriger Ansätze erforscht werden. Daraus leitet sich ein neues Forschungsprogramm ab, das gegenwärtig am Fraunhofer IITB, der Universität Oldenburg/OFFIS und TU Dresden bearbeitet wird. Es hat sowohl eine Entwicklung neuer Modellierungsmethoden als auch die Anwendung für Aufgaben im

Engineering zum Ziel. Als Werkzeug wird dazu gegenwärtig eine offene Modellierungsumgebung entwickelt.

Damit kann dann die Effektivität der Kommunikation, nämlich im Sinne der Wissensverteilung zwischen den Akteuren im verteilten Mensch-Maschine-System, und die Effizienz als optimale Auswahl von Kommunikationskanälen und -prozeduren anhand des Kommunikationsverhaltens analysiert werden.

### 2.1 Anwendung für Analyse von verteilten Mensch-Maschine-Systemen

Es ist unser Ziel, eine Systemarchitektur für die Anwendung von Human Performance Modellen in verteilten Mensch-Maschine-Systemen zu entwerfen, mit der die folgenden Fragen beantwortet werden können:

- Wie lässt sich die Güte von „shared mental models“ im Rahmen einer Simulation bei „safety and security critical distributed communication systems“ bewerten?
- Wie lässt sich das Informationsmanagement in verteilten Systemen im Rahmen einer Simulation bei „safety and security critical distributed communication systems“ bewerten?

Dabei sollen bestehende bzw. geplante Kommunikationsprozeduren, die Charakteristik der verwendeten Kommunikationssysteme und das Verhalten von Assistenzsystemen berücksichtigt werden. Genauso muss die Simulation der Human Factors, wie sie bereits in Human Performance Simulationsumgebungen abgebildet werden, unterstützt werden.

### 2.2 Methodenentwicklung

Um diese neue Simulationsumgebung nutzen zu können, ist vorher folgende methodische Frage zu beantworten:

- Wie lassen sich Kommunikationsprozesse von menschlichen Akteuren in „safety and security critical distributed communication systems“ modellieren?
- Wie müssen Methoden zur Aufgabenanalyse in verteilten Mensch-Maschine-Systemen an die Modellierung von Interaktion angepasst werden?

Dazu müssen die Kommunikationswege, deren Qualität und die Anforderungen an die Sicherheit der Kommunikation (sowohl Verlässlichkeit, als auch Gefahr durch Abhören oder Verfälschen der Informationen) berücksichtigt werden. Ebenso müssen auch hier die Human Factors modelliert werden, die dazu führen, dass Nachrichten nicht verstanden, überhört, vergessen, falsch interpretiert oder ignoriert werden.

## 3 Systemarchitektur

Zur Simulation von Akteuren in verteilten Mensch-Maschine-Systemen wählen wir eine verteilte Softwarearchitektur in Anlehnung an das Entwurfsmuster der

Multiagentensysteme. Jeder Akteur und auch technische Komponenten, mit denen die Operateure interagieren, wird als ein eigenständiger Agent modelliert.

Die Akteure haben unterschiedliche Aufgaben und Strategien, um sie zu erledigen. Es macht deshalb Sinn, unterschiedliche Architekturen auf der Basis von Theorien für Human Performance Modelle in das Framework zu integrieren. Das Ziel muss dann sein, die Kommunikation zwischen den Agenten interoperabel zu machen. Dazu bieten sich Standards aus der Softwareagenten-Technologie an. Die FIPA hat bereits eine ganze Reihe von Standards für Agentenkommunikation entwickelt (FIPA, 2002). Um Interaktion adäquat simulieren zu können, müssen diese Mechanismen aber um Modelle über die Kommunikationskanäle erweitert werden. Beispiele für zusätzliche Informationen zur Interaktion über technische Kommunikationskanäle sind die Priorisierung der Kanäle und der übertragenen Informationen, Kommunikationsprozeduren und Vorschriften, die Auswahl des Kommunikationsmodus (z.B. Broadcast) und das Kommunikationsverhalten der einzelnen Agenten.

Mehrere unterschiedliche kognitive Architekturen müssen an das System angeschlossen werden können. Bild 1 zeigt ein Szenario mit vier Agenten, die miteinander kommunizieren. A1, A2 sowie A3 und A4 sind mit drei unterschiedlichen kognitiven Architekturen umgesetzt. Die Architekturen wurden um eine Schnittstelle zu dem Kommunikationsverbund erweitert. Diese Schnittstellenimplementierungen unterstützen die technische Definition der Kommunikationsinfrastruktur: Sie verwenden das gemeinsame Protokoll und sie halten das erforderliche Timing ein bzw. reagieren protokollkonform auf Synchronisationsnachrichten.

Die Schnittstelle zwischen kognitiver Architektur und Kommunikationsverbund muss eine Kopplung zwischen dem Modell der Wahrnehmung des Agenten und dem Modell der Kommunikation des Agentenverbundes herstellen.

Je nach gewählter Implementierung kann die Schnittstelle zusätzliche Funktionen umsetzen, die abhängig von der kognitiven Architektur sind. Darüber kann dann das Ausmaß der Wahrnehmung des Agenten gesteuert werden. Wenn in dem Agentenmodell Informationen über die Beanspruchung des auditiven oder anderer Inputkanäle vorhanden sind, können diese Informationen benutzt werden, um die einkommenden Nachrichten zu filtern oder abzublocken. Manche Agentenmodelle besitzen auch ein Maß ihrer kognitiven Beanspruchung, die auch zur Steuerung der Wahrnehmung benutzt werden kann.

Um optionale Dialogsysteme und deren Unterstützungssysteme zu modellieren, werden Transformatoren (in Bild 1 T1, T2, T3) benutzt, die den Nachrichtenstrom entsprechend ihrer Funktion ändern. So können Informationen aus Nachrichten herausgefiltert werden, um zu simulieren, dass ein Assistenzsystem eine adaptive Anzeige hat, die Informationen aggregiert anzeigt. Zusätzliche Nachrichten könnten aus einem Transformator kommen, der ein Unterstützungssystem simuliert, das Hintergrundinformationen aus einer Datenbank bereitstellt.

Das simulierte Kommunikationsnetz besteht aus Verbindungsstrecken mit unterschiedlichen Eigenschaften, die bestimmen, welche Informationen tatsächlich beim Empfänger ankommen. Die Verbindungsstrecken können direkte Kommunikation oder technisch vermittelte Kommunikation abbilden. Einige Eigenschaften, die hier umgesetzt werden müssen, sind die Bandbreite, die Qualität der Übertragung, die Sicherheit der Verbindung und Signallaufzeiten (Delay, Latenz).

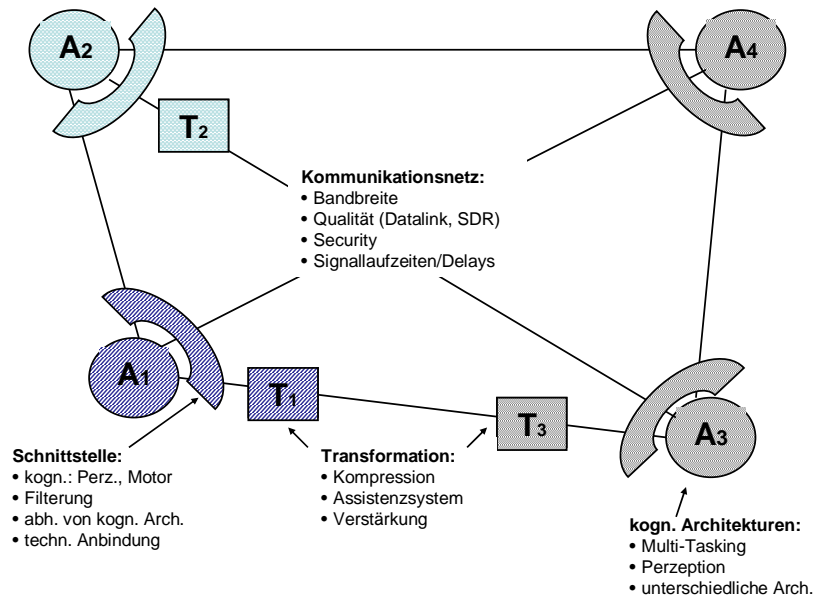


Bild 1: Schematische Darstellung der Systemarchitektur interoperabler kognitiver Agenten

Das Kommunikationsnetz dieser Architektur basiert auf message passing in einer FIPA-konformen Agentenplattform wie z.B. JADE. In Erweiterung dieses Ansatzes müssen Synchronisationsmechanismen für verteilte Simulationen berücksichtigt werden. Dazu werden Ansätze aus der High Level Architektur (HLA) übernommen. Ein Anschluss an eine HLA Run Time Infrastructure kann z.B. über Mediatoren erfolgen. Zusätzlich muss die Agentenplattform die Eigenschaften der Kommunikationsstrecken zur Laufzeit heranziehen. Die kognitiven Agenten werden je nach Anwendung mit ACT-R/PM, Prolog und SOAR umgesetzt. Diese kognitiven Architekturen werden um entsprechende Schnittstellen zu dieser Agentenplattform erweitert. Um die Kommunikationsabläufe zu modellieren, sollen Methoden und Standards aus der Geschäftsprozessmodellierung (BPEL) und den Aufgabennetzwerken (Statecharts und Verfahren des Model Checking) integriert werden.

Die Analyse der verteilten Mensch-Maschine-Systeme erfolgt auf Ebene der kognitiven Agenten. Für Simulationsexperimente können folgende unabhängige Variablen variiert werden:

- Parametrierung an den Agenten:
  - Kommunikationsprozeduren
  - Agentenverhalten
- Parametrierung an den Transformatoren:
  - Kommunikationssysteme
  - Unterstützungssysteme

#### **4 Anwendungsszenarien**

Im Rahmen des Forschungsprogramms sollen die Modellierungsmethode und die Infrastruktur zur Simulation in unterschiedlichen Anwendungsszenarien erprobt werden.

##### **4.1 Flugzeugführung (Interaktion zwischen Pilot-Flying und Pilot-Non-Flying)**

Die Aufgaben im Cockpit eines Flugzeugs sind zwischen dem Pilot-Flying (PF) und dem Pilot-Non-Flying (PNF) klar verteilt und in Form von Prozeduren spezifiziert. Fester Bestandteil solcher Prozeduren sind so genannte Crosschecks, durch welche die Redundanz bei der Überwachung der Instrumente sichergestellt werden soll. Hierzu gehört die Überwachung der Modusanzeige (Flight Mode Annunciation). Simulatorstudien haben gezeigt, dass in modernen hochautomatisierten Glass-Cockpits Flugmodi erwartungsgemäß überwacht werden (Huettig et al., 1999). Piloten scannen die Instrumente, um Zustände der Systeme und des Flugzeugs insgesamt entsprechend ihrer Erwartungen zu verifizieren. Diese Strategie birgt ein hohes Potential, dass unerwartete Informationen über Moduswechsel nicht wahrgenommen werden und der Pilot somit ein inkorrektes mentales Model der aktuellen Situation entwickelt, welches zu nicht-adäquaten Aktionen und schließlich zu gefährlichen Flugzuständen führen kann. Durch redundante Crosschecks in Flugprozeduren soll hier entgegen gewirkt werden. Beim Design von Flugprozeduren ist es wichtig zu untersuchen, ob die Verteilung der Aufgaben zwischen PF und PNF mit den vorgesehenen Crosschecks die Entdeckung auch unerwarteter Systemzustände garantiert. Hierzu ist es notwendig, kognitive Faktoren zu berücksichtigen.

Zur Unterstützung dieser Analyse soll eine Instanz der angestrebten Multiagenten-Plattform realisiert werden, in der zwei kognitive Pilotenmodelle das selbe System (hier Flugzeug inklusive des Autoflightsystems) bedienen und überwachen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen (z.B. einen Takeoff oder ein Taxi-Manöver durchzuführen). Dabei kommunizieren die beiden Pilotenagenten direkt miteinander, um z.B. in Form von Callouts Systemzustände anzuzeigen und rechtzeitig auf Abweichungen aufmerksam zu machen, um schnell notwendige

Maßnahmen einleiten zu können. Die Überwachung von Instrumenten ist ein Task, der parallel zu anderen Tasks zeitlich geplant werden muss. Um zu analysieren, ob geforderte Checks rechtzeitig und mit der geforderten Genauigkeit durchgeführt werden, sind kognitive Rahmenbedingungen bzgl. der menschlichen Multitasking-Fähigkeit zu berücksichtigen. Einen wesentlichen Einfluss auf die „Qualität“ des Handelns hat die aktuelle Workload. Bei hoher Workload ist damit zu rechnen, dass sich die Piloten auf einige wenige Tasks konzentrieren. Die aktuelle Workload als Konsequenz der aktuellen Aufgabenbearbeitung lässt sich basierend auf Workload-Metriken (z.B. McCracken & Aldrich, 1984) modellieren. Bei der Modellierung des Einflusses auf die Performanz bieten die kognitiven Ebenen der Kontrolle von Hollnagel (*scrambled, opportunistic, tactical, strategic*) einen wichtigen Ansatzpunkt (Hollnagel, 1993). Kognitive Kontrolle bewegt sich hier zwischen bloßem Trial & Error (*scrambled*) bis hin zu vorausschauender Planung (*strategic*).

Die aktuelle Workload beeinflusst nicht nur die Wahrscheinlichkeit, mit der vorgeschriebene Crosschecks durchgeführt werden, sondern auch, ob eine vom PNF ausgerufene Warnung vom PF adäquat verstanden und eingeordnet wird. Die Modellierung dieser Aspekte wird sich an dem Joint Action Ladder Kommunikationsmodell von Clark (Clark, 1996) und dem Triadic Concept of Communication (Schmitt, 2004) orientieren. Demnach erfordert Kommunikation zunächst die Produktion (*inception*) einer Nachricht (z.B. Warnung) durch den Absender und im Anschluss daran folgende Prozesse zur Einordnung der Nachricht durch den Empfänger: Die Nachricht (a) bemerken (*attending*), (b) ihren Inhalt aufnehmen (*perceiving*) und ihn (c) verstehen (*understanding*). Anschließend müssen (d) (korrigierende) Aktionen selbst vorgenommen oder delegiert werden (*acting*). Jeder einzelne dieser für eine effektive Zusammenarbeit benötigten Prozesse auf Seiten des Empfängers kann beeinträchtigt werden. Im Extremfall können hohe Workload und hoher Zeitdruck zum kompletten Fehlschlagen also Ausbleiben eines Teilprozesses führen. Ansonsten können für einzelne Schritte Abkürzungen gewählt werden, die weniger Zeit bzw. geringere kognitive Ressourcen erfordern, im Gegenzug aber unsichere Ergebnisse liefern. Eine mögliche Abkürzung bei Aufnahme (*perceiving*) und Interpretation (*understanding*) des Nachrichteninhalts kann in Verbindung mit bereits bestehenden Erwartungen auftreten. Wird eine Information empfangen, die einer erwarteten Information stark ähnelt, kann diese unter Zeitdruck leicht als die erwartete missverstanden werden. Die erwartete Information ist in diesem Fall mit einem Expectation Bias (Kahneman et al., 1982) behaftet und wird aufgrund von existierenden Gewohnheiten oder vorliegenden Hinweisen aus der Umwelt bevorzugt wahrgenommen. Ähnlich verhält es sich mit dem Confirmation Bias, bei dem Hinweise bevorzugt werden, die bereits getroffene Annahmen unterstützen.

Die möglichen Kommunikationsabkürzungen sollen anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. In einem Projekt der NASA (Hooey & Foyle, 2001) wurden Taxi-Operationen eines gelandeten Flugzeugs von der Landebahn zum zugewie-

senen Gate in Simulatorstudien untersucht und insbesondere die Zusammenarbeit zwischen PF und PNF auf menschliches Fehlverhalten hin analysiert. Der vorgesehene Ablauf stellt sich wie folgt dar. Der PF steuert das Flugzeug, während der PNF die zugewiesene Route zum Gate vom ATC über Funk erhält. Die Route beinhaltet Clearances für die einzelnen Teilstrecken, die der PNF notiert. Vor anstehenden Turns, sollen die entsprechenden Clearances mündlich an den PF kommuniziert werden. Die bei der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse unterstützen die Annahme, dass unter entsprechender Workload und Zeitdruck Abkürzungen im Zusammenspiel zwischen PF und PNF auftreten, die zwar in vielen Fällen ausreichen, aber nicht die volle Sicherheit bieten. Abbildung 1 zeigt exemplarisch mögliche Abkürzungen:

1. PNF unterlässt Richtungsangabe: Eine Abkürzung kann sich so äußern, dass der PNF die anstehende Richtungsangabe nicht durchführt. Mögliche Gründe dafür können sein, dass der PNF aufgrund eigener hoher Workload etwa durch Kommunikation mit dem ATC nicht bemerkt hat, dass eine Anweisung bereits fällig ist. Ein weiterer Grund könnte die Vergabe einer Standardroute sein, wobei der PNF darauf vertraut, dass sich der PF an die korrekten Richtungsangaben erinnert. Schließlich kann das Verhalten des PF zu Missverständnissen führen. Agiert dieser bereits, ohne nach der Clearance zu fragen, kann der PNF zu der Annahme gelangen, der PF habe bereits die nötigen Informationen für den nächsten Turn (implizite Kommunikation).
2. PF unterlässt Nachfrage: Auch die Verwendung von Entscheidungsheuristiken kann zur Auswahl von Abkürzungen führen. So ermittelten Byrne & Kirlik (2005) im Bezug auf oben genannte Simulatorstudie unterschiedliche Entscheidungsstrategien, im Spektrum von kognitiv anspruchsvoll und verlässlich bis schnell und unsicher. Gewählt wird je nach Situation die Strategie mit dem höchsten Erfolgspotential, dessen Durchführung bei der zur Verfügung stehenden Zeit noch möglich ist. Zu diesen Strategien für den PF gehören (a) sich an die korrekte Clearance erinnern, (b) Turns in die Richtung des Gates vornehmen, (c) von Karte und aktueller Position auf nächsten Turn schließen und (d) den nächsten Turn raten. Jede dieser Strategien überspringt die Kommunikation mit dem PNF und kann unter Zeitdruck die Arbeit beschleunigen.
3. PNF bestätigt inkorrekte Richtung: Bei der Antwort auf die Rückversicherung kann Workload zu einem Confirmation Bias führen. Dabei kann die Annahme des PNF, der PF hätte die Clearance verstanden und korrekt bestätigt, verstärkt werden und eine Bestätigung ohne vorherige Überprüfung bewirken. In diesem Fall wird die Rückversicherung des PF vom PNF nicht als Informationsbedarf verstanden. Zum Verständnis von Fehlern dieser Art müssen die vom Sender intendierten und vom Empfänger interpretierten Sprechakte (Searle, 1969) herangezogen werden. Hier kommt es zu einer Verwechslung des in der Äußerung enthaltenen illocutionary points. Was vom PF als



Aufforderung (*directive*) gemeint ist, wird vom PNF fälschlicherweise als bloße Feststellung (*assertive*) oder Ankündigung (*comissive*) erkannt.

Das Kommunikationsmodell (Bild 2) bietet einen Rahmen zur Einordnung potentieller Fehlermöglichkeiten. Eine Reihe solcher Fehlermöglichkeiten zeigen die Ergebnisse des Human Error Modeling (HEM)-Projektes der NASA (Leiden & Best, 2005), welches auf Basis der Taxi-Daten der oben genannten Simulatorstudie durchgeführt wurde. Dabei wurden fünf kognitive Modellierungsansätze Fehlermöglichkeiten lassen sich als Kommunikationsabkürzungen interpretieren, z.B. Abkürzungen durch Workload-bedingte Auswahl von Entscheidungsheuristiken (Byrne & Kirlik, 2005; Deutsch & Pew, 2002) und fehlerhafte Annahmen über den Kenntnisstand des anderen (Deutsch & Pew, 2002; Gore & Corker, 2002). Nicht berücksichtigt werden beispielsweise Fehler durch implizite Kommunikation und Fehler durch inkorrekte Interpretation von Sprechakten. Innerhalb der Instanz der angestrebten Multiagenten-Plattform für den Flugzeugführungsbereich soll untersucht werden, wie sich auch diese Fehlerkategorien kognitiv modellieren und prognostizieren lassen. Mit Hilfe des intendierten Analyseinstrumentes wird es möglich sein, für einzelne Phasen der Kommunikation zwischen PF und PNF Fehlerwahrscheinlichkeit für relevante Fehlerkategorien vorherzusagen.

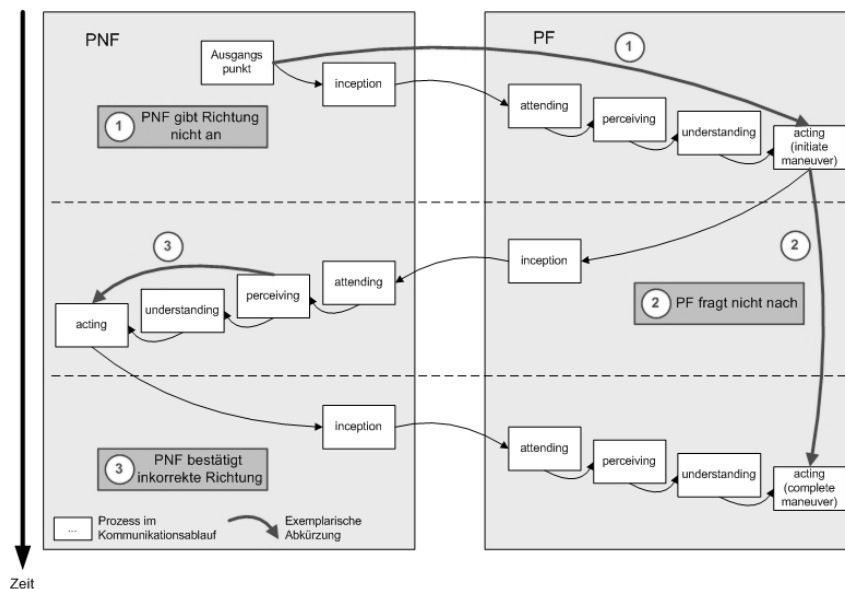


Bild 2: Joint Action Ladder (Clark, 1996) für Kommunikation zwischen PF und PNF

#### 4.2 Informationsmanagement in Verteidigung und Sicherheit

Im Gegensatz zur direkten Kommunikation zwischen PF und PNF wird im zweiten Anwendungsbereich Interaktion über technik-vermittelte Sprechakte zwischen räumlich verteilten Individuen analysiert.

Das Ziel ist, Verfahren und Systeme für das Informationsmanagement zu optimieren, wie sie für die Durchführung von militärischen und zivilen Aufgaben im Sicherheitsbereich benötigt werden. Die Aufgabenbearbeitung ist wissensintensiv und oft zeitkritisch. Fehlerhafte Entscheidungen aufgrund unzureichender oder falscher Informationen haben Auswirkungen auf Gesundheit und Leben von Menschen. Deshalb muss das Informationsmanagement, also die Sammlung, Fusionierung, Korrelierung, Speicherung und aufgaben-, ebenen- und rollengerechte Bereitstellung von entscheidungsrelevanten Informationen, so gut wie möglich unterstützt werden.

Im Bereich Sicherheit arbeiten sowohl im militärischen, als auch im zivilen Bereich jeweils große Teams mit heterogenen verteilten Datenbeständen. Für die Informationsverteilung müssen dadurch in zunehmenden Maße IT- und Kommunikationssysteme eingesetzt werden. Eine mündliche Weitergabe z.B. in Form von Anweisungen und Meldungen wird es aber immer weiterhin geben und muss bei der Gestaltung neuer Systeme berücksichtigt werden. Gerade im militärischen Bereich und beim behörden- und organisationsübergreifenden Katastrophenmanagement sind auch organisatorische Strukturen ein sehr wichtiger Faktor, der Effektivität und Effizienz der Kommunikation wesentlich mitbestimmt.

Ein führungsebenenübergreifender, interoperabler Informations- und Kommunikationsverbund zwischen den beteiligten Personen, Stellen und Informationsquellen umfasst die wesentlichen Aspekte:

- Zustand des Senders, Zustand des Empfängers
  - Wissensverarbeitung: Informationsbedarf, Informationsdeckung
  - Situation (Wissensstand, Beanspruchung, Aufmerksamkeit)
- Nachricht
  - Format, Inhalt
  - Nachrichtenübermittlung
- Organisation: Kommunikationsbeziehungen
  - Technische Kommunikationsinfrastruktur
  - Mündliche Kommunikationsstrukturen

Diese Aspekte können mit dem oben beschriebenen Framework modelliert und analysiert werden. Im Folgenden werden die Modellierungstechniken für diesen Anwendungsbereich beschrieben.

#### 4.2.1 Modellierungstechniken für den Zustand des Senders und Empfängers

Der zu analysierende Bereich ist durch wissensintensive Aufgaben geprägt. Hintergrundinformationen sind zur Interpretation von Nachrichten erforderlich.

Die Analyseebene ist hoch angesetzt, denn die simulierten Abläufe sind eher im Stunden- als im Minutenbereich angesiedelt. Deshalb sollen die kognitiven Knoten mit SOAR-Modellen implementiert werden. Da vielfältige Kommunikationsbeziehungen mit teilweise fest vorgegebenen Protokollen zu verwalten sind, müssen Methoden aus dem Bereich der Agententechnologien wie der BDI-Ansatz (Rao & Georgeff, 1991) in SOAR übernommen werden.

Auf dieser Analyseebene sind Human Factors Simulationen, wie sie in Human Performance Modellen (HPM) durchgeführt werden, nicht mehr anwendbar, weil die vielfältigen Einflussfaktoren nicht exakt modelliert werden können. Zusätzlich haben motivationale und emotionale Faktoren Einfluss, die mit HPM-Modellierungstechniken noch nicht umfassend modelliert werden können. Deshalb müssen ausgewählte Human Factors als Parameter in die SOAR-basierte Simulation aufgenommen werden.

Der Ansatz der interoperablen kognitiven Agenten ermöglicht den alternativen Einsatz von HPM-Modellen auf der Basis von z.B. ACT-R/PM, wenn es darum geht, spezielle separierbare Human Factors Fragestellungen zu analysieren. Für diese Anwendung ist z.B. Situation Awareness ein relevanter Aspekt.

#### 4.2.2 Modellierungstechniken für die Nachricht

Der Inhalt der Nachrichten orientiert sich am Informationsbedarf, der aus der konkreten Anwendung abgeleitet werden muss. Um zu einem interoperablen Anwendungsverbund zu kommen, müssen die Inhalte und die zu verwendenden Bezeichner in einer Ontologie festgelegt werden (Schönbein, 2006). Zur Umsetzung wird eine Erweiterung des RPR-FOM Datenmodells aus der HLA herangezogen.

Die Kommunikationsstrecke hat bei dieser Anwendung einen wesentlichen Einfluss. Im militärischen Bereich bestimmt beispielsweise die Sicherheit der Verbindung, welche Informationen übertragen werden dürfen. Außerdem gibt es Priorisierungen. Daneben wirken sich die Parameter Bandbreite, Latenzzeit, Übertragungsqualität und Medium (Daten oder Sprache) auf die Art der Kommunikation und die auszutauschenden Daten aus.

Zur Simulation der Eigenschaften der Kommunikationsstrecke wird ein Transformationsprozess benutzt. Die Komponente, die die Transformation realisiert, ist in einer Plugin-Architektur aufgebaut. Plugins für Verzögerungen, Bandbreitebegrenzungen und inhaltliche Filterungen können damit leicht zu einem charakteristischen Profil kombiniert werden.

#### 4.2.3 Modellierungstechniken für die Organisation und deren Kommunikationsbeziehungen

Die Kommunikationsbeziehungen werden mit Methoden der Geschäftsprozessmodellierung erhoben und formalisiert. Mit einem Compileransatz werden Wissensstrukturen für die Kommunikationsstrategien der Agenten erzeugt. Dadurch kann von der übergeordneten organisatorischen Ebene, auf der die Interaktion betrachtet wird, auf die individuelle Ebene der Dialoge und den einzelnen Kommunikanten geschlossen werden.

#### 4.3 Leittechnik (verteilte Leitwarte, Operator-Teams)

Im Gegensatz zur Flugführung und zur Operationsführung werden in der Prozessindustrie vergleichsweise wenige Aktivitäten durch die Vorgabe von festen Prozeduren und Protokollen vorausgeplant. Die Vielfältigkeit der Aufgaben und Fremdeinflüsse, der häufig kleine Multiplikationsfaktor und eine aus Marktgründen notwendige Strategie der kontinuierlichen Prozessoptimierung sind Gründe dafür, dass eine Abdeckung des gesamten Tätigkeitsspektrums mit vorab geplanten Prozeduren (*Standard Operating Procedures*, SOP) mit vertretbarem Aufwand nicht zu erzielen ist. Geplant werden vor allem die für den normalen Betrieb notwendigen Prozeduren des An- und Abfahrens, Last- und Produktwechsel, Prozessführung, Qualitätssicherung sowie wesentliche sicherheitsrelevante Notfallprozeduren. Insbesondere die Beherrschung von alltäglichen Fehlern zeichnet sich jedoch durch einen hohen Anteil nicht vorausgeplanter (im Sinne kreativer, ad-hoc, custom-made, nicht von allen geteilten) Aktivitäten aus. Kanse (2004) belegt hierbei hohe Anteile in den Phasen der Fehlerentdeckung (*detection*, 42-66%) und der Fehlererklärung (48-76%). Die Ausführung von Gegenmaßnahmen ist jedoch von vorausgeplanten Aktivitäten dominiert, der Anteil der ungeplanten sinkt auf 20-30%.

Bis auf wenige Ausnahmen sind in allen Fällen der Studie nach der Phase der Fehlerentdeckung mehr als eine Person beteiligt oder mindestens ein Aktivitätsübergang auf eine andere Person zu verzeichnen. Dies wird zum Einen in der arbeitsteiligen Spezialisierung (Unterschiedliche Zuständigkeiten/Rollen für Betrieb, Wartung, Engineering) zum Anderen durch fehlende Ressourcen der Handelnden (Wissen, Expertise, Werkzeuge, Zeit) begründet. Aufgabenbezogene Kommunikation mit dem Ziel des Ressourcen- und Workloadmanagements ist also wesentliche Voraussetzung für eine effiziente und sichere Fehlerbeherrschung in der Prozessindustrie.

Für die Abbildung und Simulation dieser adaptiven Vorgänge des Workload- und Taskmanagements von Operatorteam in den Leitwarten der Prozessindustrie sind aktuelle Methoden und Werkzeuge wie Agent UML (Bauer et al., 2001) oder GAIA (Wooldridge et al., 2000) zu erweitern. Insbesondere werden die in den Rollenmodellen festgelegten Verantwortlichkeiten (*responsibilities*) um Zeitdruck und Priorisierung beschreibende Prädikate erweitert werden. Zudem sind auf der Basis des HTAmap-Ansatzes (Heinath & Urbas, 2006) sowohl Templates zur

Aufgabenausführung als auch zu Aufgabenzuordnung, -teilung oder -übergabe zu entwickeln. Bei der Transformation, Instantiierung und Ausführung der Templates müssen verschiedene Moderatorgrößen berücksichtigt werden können: die Verfügbarkeit von Wissen (Waller, 1997) und Werkzeugen (Heckhausen & Kuhl, 1985), die Dringlichkeit der Aufgabe (z.B. Geen, 1995), die für die Ausführung voraussichtlich benötigte Zeit, Anforderungen aus anderen anstehenden Aufgaben (Koch & Kleinmann, 2002; Hollnagel, 2002) sowie die Verfügbarkeit von Unterstützung durch andere (Heckhausen & Kuhl, 1985).

Durch die Simulation derartiger Modelle in Rahmen der vorgestellten Architektur kann die Robustheit von Automatisierungslösungen im Kontext unterschiedlicher Rollenkonzepten und Kommunikationsprozeduren beleuchtet werden.

## 5 Ausblick

Gegenwärtig werden die Anforderungen an die Simulationsumgebung definiert und ihre Anwendungen geplant. Es ist zu hoffen, dass weitere Architekturen für kognitive Agenten durch interessierte Dritte um entsprechende Schnittstellen zum Anschluss an diese Simulationsumgebung erweitert werden, so dass ein allgemeines Testbed für die Simulation von Benutzungsaspekten in verteilten Mensch-Maschine-Systemen entsteht. Dazu muss besonderes Augenmerk auf die Architektur und die Spezifikation der Kommunikationsprotokolle in Bezug auf die Offenheit der Plattform gelegt werden.

Der Ansatz ist offen für eine Integration verteilter large scale Simulatoren über Gateways. Gegenwärtig wird geprüft, welche speziellen Anforderungen sich daraus für die Kommunikationsprotokolle in der Simulationsplattform ergeben.

## Literatur

- Bauer, B., Müller, J.P., & Odell, J. (2001). Agent UML: A Formalism for Specifying Multi-agent Interaction. In P. Ciancarini & M. Wooldridge (Hrsg.), *Agent-Oriented Software Engineering* (S.91-103). Berlin: Springer-Verlag.
- Byrne, M.D. & Kirlik, A. (2005). Using Computational Cognitive Modeling to Diagnose Possible Sources of Aviation Error. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15(2), 135-155.
- Clark, H. (1996). *Using language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Deutsch, S. & Pew, R. (2002). Modelling human error in a real-world teamwork environment. *24th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Fairfax, VA, 2002, 274-279.
- FIPA (2002). FIPA Abstract Architecture Specification. Online-Dokument <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/index.html> (letzter Zugriff: 31.Aug. 2006).
- Geen, R.G. (1995). *Human motivation: a social psychological approach*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing.
- Gore, B.F. & Corker, K.M. (2002). Increasing Aviation Safety Using Human Performance Modeling Tools: An Air Man-machine Integration Design and Analysis System Application. In M.J. Chinni (Hrsg.), *2002 Military, Government and Aerospace Simulation*, 34(3), (S. 183-188). San Diego: Society for Modeling and Simulation International.

- Gray, W.D.(Ed.) (in press). *Integrated models of cognitive systems*. New York: Oxford University Press.
- Heckhausen, H. & Kuhl, J. (1985). From wishes to action: the dead ends and short cuts on the long way to action. In M. Frese & J. Sabini (Hrsg.), *Goal directed behavior: the concept of action in psychology* (S. 134-159). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Heinath, M. & Urbas, L. (2006). HTAmap: Ein High-Level Beschreibungsansatz zur Unterstützung des kognitiven Modellbildungsprozesses. In M. Grandt (Hrsg.), *Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung* (DGLR-Bericht 2006-02). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Hollnagel, E. (1993). *Human reliability analysis: Context and control*. London: Academic Press.
- Hollnagel, E. (2002). Time and time again. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 143-158.
- Hooley, B.L. & Foyle, D.C. (2001). A post-hoc analysis of navigation errors during surface operations: Identification of contributing factors and mitigating solutions. In R.S. Jensen, L. Chang, & K. Singleton (Hrsg.). In *Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio: Ohio State University, 226:1-226:6.
- Hüttig, G., Anders, G. & Tautz, A. (1999). Mode Awareness in a modern Glass Cockpit. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Aviation Psychology, Volume 1, Columbus, OH, USA*, pp. 130 - 135.
- Kahneman, D., Slovic, P. & Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. New York: Cambridge University Press.
- Kanse, L. (2004) *Recovery uncovered: How people in the chemical process industry recover from failures*. Dissertation, Technische Universiteit Eindhoven; Eindhoven.
- Koch, C.J. & Kleinmann, M. (2002). A stitch in time saves nine: Behavioral decisionmaking explanations for time management problems. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 11(2), 199-127.
- Leiden, K. & Best, B.(2005). *A Cross-Model Comparison of Human Performance Modeling Tools Applied to Aviation Safety*. Micro Analysis & Design, Inc. Boulder, CO 80301, 2005.
- Lüdtkke, A. (2005). *Kognitive Analyse Formaler Sicherheitskritischer Steuerungssysteme auf Basis eines integrierten Mensch-Maschine-Modells*. Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz, DISKI Band 288, Berlin: Akad. Verl.-Ges.
- McCracken, J.H. & Aldrich, T.B. (1984). *Analyses of selected LHX mission functions: Implications for operator workload and system automation goals*. Technical Note ASI479-024-84. Army Research Institute Aviation Research and Development Activity, Fort Rucker, Alabama.
- Rao, A.S. & Georgeff M.P. (1991). Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture. In J.F. Allen, R. Fikes, & E. Sandewall (eds), *Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'91)*. Cambridge, MA, USA, April 22-25, 1991. Morgan Kaufmann Publishers
- 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*, Trieste, Italy, pp. 404-407.

- Salvucci, D.D. (2001). Predicting the effects of in-car interface use on driver performance: an integrated model approach. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55 (1), 85-107.
- Schmitt (2004). Communication-Oriented Modelling – Transforming the Social Visibility of Communication Processes into Cognitive Visibility. In *Proceedings of COSIGN 2004*, 14-16 September 2004, University of Split (Croatia).
- Schönbein, R. (2006). *Agenten- und ontologiebasierte Software-Architektur zur interaktiven Bildauswertung*. Dissertation, Univ. Karlsruhe. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Searle, J.R. (1969). *Speech Acts*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Timpe, K.-P. & Jürgensohn, T. (2000). Perspektiven der Mensch-Maschine-Systemtechnik. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf: Symposium.
- Urbas, L. & Leuchter, S. (2005). Model Based Analysis and Design of Human-Machine Dialogues through Displays. *KI – Künstliche Intelligenz*, 4/2005, 45-51.
- Waller, M.J. (1997). Keeping pins in the air: How work groups juggle multiple tasks. *Advances in Interdisciplinary Studies of Work Teams*, 4, 217-247.
- Wooldridge, M., Jennings, N.R. & Kinny, D. (2000). The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. *International Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3). 285-312.

### Autoren

Dipl.-Inform. S. Leuchter	Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB) Karlsruhe
Dr. A. Lüdtko	OFFIS, Oldenburg Safety Critical Systems
PD Dr.-Ing. habil. L. Urbas	TU Dresden Institut für Automatisierungstechnik

