

# Modellgestütztes *situation awareness*-Training für komplexe und dynamische Mensch-Maschine-Systeme

LEON URBAS & SANDRO LEUCHTER

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

## Zusammenfassung

Es wird eine Methode zum Training von *situation awareness* (SAT) vorgestellt, die es ermöglicht, diese computer-gestützte Ausbildungsform in komplexen, dynamischen Mensch-Maschine-Systemen einzusetzen. Anhand der Begrenzungen bestehender Ansätze werden die Vorteile des vorgestellten *model based state monitoring* diskutiert. Des Weiteren wird ein Rahmenwerk vorgestellt, mit dem die Nützlichkeit von SAT anhand verschiedener Eigenschaften der Aufgaben- bzw. Domänencharakteristik a priori abgeschätzt werden kann. Die Diskussion des Einsatzes von SAT in den beiden Beispieldomänen Flugsicherung und Prozessführung der Verfahren der chemischen Industrie wird mit einem Ausblick auf weitere Entwicklungen abgeschlossen.

## Einleitung

Bediener komplexer und dynamischer Mensch-Maschine-Systeme haben die Aufgabe, den Zustand des technischen Systems, der über eine (z.B. graphische) Schnittstelle vermittelt wird, zu überwachen und aufgrund von externen Vorgaben durch entsprechende Eingriffe die Führungsgrößen in bestimmte Bereiche zu bringen. Entscheidungen für Eingriffe müssen aufgrund der wahrgenommen oder abgeleiteten Information über Systemgrößen getroffen werden. Ist der Aufwand um an diese Informationen zu gelangen, bei einer zeitkritischen Situation zu groß, muss statt dessen auf ein mentales Abbild der Situation zurückgegriffen werden.

Unter dem Begriff *situation awareness* wird das Wissen eines Operateurs über den Zustand der Objekte, welche die kontrollierte Situation konstituieren, gefasst. Endsley und Smolensky (1998) unterteilen *situation awareness* in drei Ebenen:

- Ebene 1: Wissen über den aktuellen Zustand der Objekte.
- Ebene 2: Wissen über die Bedeutung der Objekte für die Situation.
- Ebene 3: Wissen über den zukünftigen Zustand der Objekte.

Für die Bewältigung von Kontrollaufgaben in komplexen Systemen sind die ersten beiden Ebenen von Bedeutung, wobei der Zustand der Objekte dem Bediener über Schnittstellen vermittelt wird. In dynamischen System kann zudem *situation awareness* auf Ebene drei für die Aufgabenstellung notwendig oder hilfreich sein.

Ein Situationsabbild muss initial aufgebaut werden. Danach bestimmen zwei Prozesse das Maß von *situation awareness*: Das Abbild muss durch ein „Update“ der einzelnen Elemente aktuell gehalten werden. Bei erhöhtem Aufwand für das Update durch ungünstigen Zugriff auf aktuelle

Informationen ist eine Auswahl der aufzufrischenden Elemente wichtig. Für diese Selektion ist die Kenntnis der Bedeutung der einzelnen Elemente notwendig, die aus mentalen *Inferenzprozessen* bei der Bearbeitung der Führungsaufgabe resultieren muss.

Das Maß an *situation awareness* kann durch Interfacegestaltung und Automatisierung beeinflusst werden. Gerade in komplexen Systemen kann eine unübersichtliche Gestaltung von Anzeigeeinheiten ein *update* erschweren und somit den Aufbau eines Situationsabbildes ungünstig beeinflussen. Durch Automatisierung können Inferenzprozesse beim Bediener teilweise überflüssig werden. Dies hat jedoch den Effekt, dass die *situation awareness* der Ebenen 2 und 3 sinkt. Folge kann eine unzureichende Wahl der zu aktualisierenden Elemente sein, wodurch das Maß an *situation awareness* auf Ebene 1 ebenfalls sinken wird.

## Situation awareness Training (SAT)

Der Prozess, das Situationsabbild aufzubauen und aktuell zu halten, wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, die aus individuellen Voraussetzungen, den Anforderungen der Aufgabe und deren Präsentation erwachsen. Einige individuelle Voraussetzungen können durch Training verbessert werden.

Hierzu zählt insbesondere die für die Kontrolle komplexer dynamischer Situationen wichtige Fähigkeit, Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Elemente der Aufgabe zu verteilen. Gopher (1993) berichtet von entsprechenden Befunden beim Training von Kampfpiloten. Mit Hilfe eines Spielprogramms, in dem ein komplexes eigendynamisches Problem zu lösen war, wurde die Aufmerksamkeitsverteilung durch visuelle Hinweisreize gelenkt. Je nach Grad der Aufmerksamkeitslenkung in diesem Spiel wurden unterschiedliche Leistungen in realen Flugeinsätzen erzielt. Dies galt insbesondere für Flugsituationen, in denen eine hohe kognitive Belastung gegeben war.

In komplexen dynamischen Systemen kann computergestütztes SAT eine sinnvolle Trainingsmethode sein (z.B. Bass 1998, Chappel et al. 1997, Kenney & Saito 1994, Götte et al. 1998). Je nach organisatorischen Bedingungen ist der ausbildungsbegleitende Einsatz von computergestützten Trainingssystemen kosteneffizient und als Selbststudium besonders motivierend. Aufgrund der Dynamik solcher Systeme kann computergestütztes Training in diesem Bereich nur anhand von Simulationen durchgeführt werden (Leuchter & Jürgensohn 2000).

Die Steuerung der Aufmerksamkeit des Trainees auf relevante Teile der simulierten Aufgabenumgebung z.B. durch wechselnde Farbcodierungen der Objekte eines Trainingssimulators, ist ein geeigneter Ansatz, um die wichtige zweite Ebene, das Verstehen der aktuellen Situation, zu trainieren. Wir nehmen an, dass die Schüler hierdurch beim Erlernen von Strategien zur selektiven und zielgerichteten Wahrnehmung unterstützt werden. Dieses Vorgehen wurde erfolgreich im Pilotentraining eingesetzt (Bass 1998), eine Evaluation dieses Konzeptes im Flugsicherungsbereich anhand des *situation awareness*-Maßes SALSA (Hauß, Gauss & Eyferth 2000) wird vorbereitet.

Damit das Trainingssystem in der Lage ist, die für den Aufbau von *situation awareness* geeignete Information auszuwählen, ist eine diagnostische Komponente erforderlich, durch die eine

Bewertung der Zustandsgrößen des Systems entsprechend ihrer Relevanz für die Kontrolle der aktuellen Situation getroffen werden kann.

### Context based state monitoring

In einigen Mensch-Maschine-Systemen wird die Methode des *context based state monitoring* (Bass 1998) genutzt. Bedeutungsvollen Zustände des kontrollierten Systems werden durch Zustände eines deterministischen endlichen Automaten repräsentiert. An diese Zustände sind Lehraktionen gebunden, die bei Erreichen des Zustands ausgeführt werden. Steht ein Zustand in einem Pilotentraining beispielsweise für eine unzulässige Abweichung von der vorgegebenen Flughöhe, könnte die entsprechende Anzeige grafisch hervorgehoben werden oder eine Warnung mit Begründung eingeblendet werden. Steuereingriffe des Trainees oder das Einwirken externer Störgrößen werden als Trigger für Übergänge in dem endlichen Automaten genutzt.

Bass (1998) beschreibt unterschiedliche Trainingsmaßnahmen, die auf den diagnostizierten Zustand des Trainingssystems zurückgreifen. Es gibt in ihrem Trainingssystem für Piloten eine Coaching-Anzeige, die eine Liste von Unterstützungsmeldungen enthält. Die Meldungen sind in drei Kategorien eingeteilt, die sich in Sortierung und Darstellung unterscheiden: Es gibt *warnings*, die einen Eingriff erfordern, *cautions*, die nachfolgende Beobachtung und wiederholte Korrektur-eingriffe bedingen, und *advisories*, die eher informativen Charakter haben und keinen direkten Eingriff verlangen. Nach einer Trainingssitzung wird aus der Aufzeichnung der durchlaufenden Zustände des Automaten ein textuelles *debriefing* generiert, das auf besondere Erfordernisse hinweist.

Jones (1999) nennt weitere Arten von Information, die in einem simulierten militärischen Luftraumüberwachungssystem dargestellt werden, um Aspekte der *situation awareness* der simulierten Piloten zu vermitteln. In einem zusätzlichen Fenster, dem „*Situational Awareness Panel*“ (SAP) werden die aktiven Ziele und zeitliche Abfolge wichtiger Aktionen der Software-Agenten, die in der Simulation die Flugzeuge steuern, sowie der Zustand des Flugzeuges angezeigt. Das SAP unterstützt Entwickler von Militärsimulationen beim Test des Systems. Darüber hinaus kann die dargestellte Information einem Bediener auch in einer Trainingssituation helfen, relevante Handlungsschritte zu erkennen und daraus eigene Strategien zur Überwachung zu entwickeln.

### Model based state monitoring

Der im vorangehenden Abschnitt beschriebene Ansatz ist nicht auf alle Mensch-Maschine-Systeme übertragbar, da vorausgesetzt wird, dass der jeweilige Zustandsraum a priori bestimmbar bzw. ausreichend klein ist. Insbesondere wenn Eingriffe von Operateuren nicht durch Standard-Bedien-Prozeduren festgelegt sind oder wenn der Zeitpunkt oder die Reihenfolge von Eingriffen viele unterschiedliche Situationen zur Folge haben können, kann die Diagnose der Relevanz von Objekten der Situation nicht mehr durch endliche Automaten erfasst werden. Für solche Systeme wurde ein modellgestütztes Konzept zur Bewertung von Zustandsgrößen hinsichtlich ihrer Situationsrelevanz entwickelt (Leuchter & Jürgensohn 2000).

Die Diagnose der Situation leistet hier eine Simulation der Kognition eines erfahrenen Operateurs. Das Bedienermodell *beobachtet* das technische System und baut eine Repräsentation der Objekte und Zustandsgrößen auf. Durch aufgabenspezifische Verarbeitungsprozesse werden die Objekte zu Relationen zusammengefasst und priorisiert. Diese Repräsentation wird aus der laufenden Simulation des kognitiven Modells ausgelesen und zur Steuerung des SAT, z.B. durch Hervorhebung und unterschiedliche Darstellung von Farbcodes benutzt.

In Produktionssystemen, die zur Modellierung der kognitiven Vorgänge eingesetzt werden, kann die Repräsentation der Situation in einem semantischen Netz von *chunks* erfolgen. Die *chunks* (Knoten des Netzes) repräsentieren die Zustandsgrößen oder relevanten Objekte. Verbindungen zwischen ihnen konstituieren Abhängigkeiten, Konstellationen oder erkannte Wirkzusammenhänge. Jedem *chunk* wird dann ein Zahlenwert zugewiesen, der die Wichtigkeit bzw. Aufmerksamkeitserfordernis ausdrückt, die von Inferenzprozessen oder auch bei der Aufnahme neuerer Informationen geändert werden kann. Dieser Wichtigkeitswert wird während der Verarbeitung über die Verbindungen des semantischen Netzes propagiert, so dass sich Aufmerksamkeit auch auf die Aktivierung semantisch benachbarter Elemente der Situation auswirkt.

Für den Flugsicherungsbereich wurde die *model based state monitoring*-Methode bereits umgesetzt (Leuchter & Jürgensohn 2000). Die Simulation beruht auf einem kognitiven Modell, das die mentale Repräsentation des Verkehrs aufgrund von Informationsaufnahme und -verarbeitungsprozessen abbildet (Niessen & Eyferth 2001). Das Modell baut auf der kognitiven Architektur ACT-R (Anderson & Lebiere 1998) auf.

## Einsatzmöglichkeiten

Der vorgestellte modellgestützte Ansatz zur Steuerung eines SAT-Systems kann domänenübergreifend in komplexen und dynamischen Mensch-Maschine-Systemen eingesetzt werden. In welchen Domänen ist SAT aber zweckmäßig? *Situation awareness* fordert auf den Ebenen 1 und 2 Wissen über den Zustand von Objekten und deren Bedeutung für die Situation. Auf Ebene 3 soll dieses Wissen sogar soweit elaboriert sein, dass daraus Aussagen über die zukünftigen Zustände des Systems abgeleitet werden können. Dieses Wissen *fällt nicht einfach ab*, vielmehr muss es von den Bedienern mitunter aufwändig erworben und gepflegt werden. Eine externe Motivation zur Entwicklung von *situation awareness* kann beispielsweise darin bestehen, dass die Bediener bei Ausfall der technischen Systeme dafür verantwortlich sind, das System in einen sicheren Zustand zu bringen. Gibt es nun auch eine intrinsische Motivation für Erwerb und Pflege derartigen Wissens, die sich aus der Aufgabe bzw. dem System selbst ergibt?

## Merkmale komplexer und dynamischer Systeme

Im folgenden werden nach einer kurzen Erläuterung der Begrifflichkeiten Merkmale komplexer und dynamischer Systemen vorgestellt, anhand derer abgeschätzt werden kann, ob der vorgestellte *situation awareness* Trainingsansatz sinnvoll ist.

Unter dem Begriff System sei im folgenden ganz allgemein eine Menge verstanden, deren Elemente in bestimmten Beziehungen zueinander stehen. Die Struktur eines solchen Systems ergibt sich aus der Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Elementen. Als Maß für die **statische** oder **Strukturkomplexität** eines Systems kann die Anzahl der Elemente und in noch stärkerem Ausmaß die Anzahl und Art der Beziehungen zwischen den Elementen dienen (Kluwe 1990, S. 123). Sofern sich der Zustand der Elemente zwischen zwei Beobachtungszeitpunkten ohne äußere Eingriffe (sei es nun gewollt durch den Bediener oder ungewollt durch Störungen) nicht ändert, wird das System als **statisch** oder stationär bezeichnet.

Ein **dynamisches strukturinvariantes System** ist definiert als eine Menge von zeitveränderlichen Größen, zwischen denen funktionale Beziehungen (die beispielsweise durch Differential- oder Differenzgleichungen quantitativ formalisiert werden können) bestehen. Die **dynamische** oder **funktionale Komplexität** wird vor allem durch die Art des Wirkgefüges (Reihen-, Parallel- und Kreisstruktur) zwischen den Elementen bestimmt. Die Dynamik des Systems zeigt sich in der zeitlichen Veränderung der Größen. Die Elemente an sich und die Struktur des Wirkgefüges sind jedoch als zeitinvariant anzusetzen.

**Dynamische strukturvariante Systeme** zeichnen sich dadurch aus, dass nicht nur die Eigenschaften der Elemente, sondern auch die Menge der das System konstituierenden Elemente und die Beziehungen zwischen den Elementen im Betrachtungszeitraum veränderlich sind. Die Komplexitätsmaße sind nun ebenfalls als zeitvariant zu betrachten.

Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf eine Auswahl von Merkmalen dynamischer Systeme, die für den Erwerb und die Aufrechterhaltung eines Abbildsystems von besonderer Bedeutung sind.

**Ruhelage:** Viele dynamische Systeme haben eine oder mehrere ausgezeichnete Ruhelagen, d.h. das System nimmt bezüglich eines (möglicherweise veränderlichen) Bezugsrahmens einen stabilen Zustand bzw. ein zeitlich stabiles Verhaltensmuster ein, in dem es bei geeigneter Wahl der Stellgrößen verharren wird, sofern das System nicht gestört wird. Auf der *situation awareness* Ebene 1 ist Wissen um das Erreichen eines Ruhezustands, auf Ebene 2 ist das Wissen um die geeignete Wahl der Stellgrößen einzuordnen und auf Ebene 3 die Prädiktion, ob der Ruhezustand verlassen oder erreicht wird.

**Gedächtnisspanne des System:** Mit der Gedächtnisspanne eines Systems wird die Zeitspanne bezeichnet, nach der die Zukunft des Systems unabhängig von der Vergangenheit wird. Diese Spanne ist in technischen Systemen abhängig von der Existenz und Kapazität interner Energie-, Stoff-, oder Informationsspeicher. Insbesondere für die *situation awareness* Ebene 3 ist diese Größe relevant, da dadurch bestimmt wird, wie lange vergangene Ereignisse (die sich nach wie vor auf das Verhalten des Systems auswirken) erinnert werden müssen.

**Systemordnung:** Für ein vollständig beobachtbares System  $n$ -ter Ordnung (Föllinger 1990) lassen sich Ober- und Untergrenzen für die Anzahl der notwendigen zeitlich aufeinanderfolgenden Beobachtungen angeben, um unbekanntes Anfangszustände innerer Systemgrößen zu rekonstruieren. Die tatsächlich notwendige Anzahl ist jedoch abhängig von dem mentalen Modell des Beobachters,

wobei hier von einer stark verkürzten Repräsentation auszugehen ist (Norman 1983). Dem kommt entgegen, dass das Übertragungsverhalten vieler technischer Prozesse in erster Näherung durch eine dominante Zeitkonstante bzw. eine dominante Eigenfrequenz beschrieben werden kann. Der Repräsentationsaufwand kann somit auf das Abspeichern einer Zeitkonstanten und einer Referenz auf ein verallgemeinerbares Muster dynamischen Verhaltens reduziert werden.

**Prädiktionshorizont:** Mit Prädiktionshorizont wird die in die Zukunft reichende Zeitspanne bezeichnet, innerhalb derer die Genauigkeit der aus dem Abbildsystem abgeleiteten Vorhersagen ausreichend ist. Bestimmend für den Prädiktionshorizont ist der Grad an Übereinstimmung zwischen Abbild und System, das Kriterium für tolerable Fehler, sowie die Wahrscheinlichkeit von externen Störungen. Eine weitere Einflussgröße ist das Vertrauen des Operators in seine Antizipation.

Aus den angeführten Merkmalen wird ersichtlich, dass in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen eine Beurteilung des zukünftigen Systemverhaltens nur mit Kenntnis der vergangenen Entwicklung des Systems möglich ist. Der *zusätzliche* Aufwand zur Aufrechterhaltung eines Maßes an *situation awareness* ist in diesen Systemen im Sinne eines ökonomischen Umgangs mit beschränkten kognitiven Ressourcen dann rational, wenn hierdurch der kognitive Aufwand zur Selektion und Bewertung relevanter Systeminformationen entweder verringert oder zeitlich verteilt werden kann. Hierzu können insbesondere Selektionsstrategien notwendig sein, mit deren Hilfe die Informationsfülle auf das für die Situation Wesentliche reduziert werden und die interne Repräsentation effektiv aktualisiert werden kann. Wie in den folgenden Abschnitten ausgeführt, kann der Erwerb solcher Strategien durch domänenspezifisches Training unterstützt werden.

## Flugsicherung

Die Anforderungen an Fluglotsen sind hoch: Es sind eine Vielzahl von Luftfahrzeugen und ihre aktuellen Parameter zu überwachen. Gefährliche Annäherungen müssen rechtzeitig antizipiert und gegebenenfalls Eingriffe so geplant werden, dass sie den Komfort der Fluggäste möglichst wenig beeinträchtigen, wenig Treibstoffkosten verursachen und keine vermeidbaren Verspätungen entstehen. Folgekonflikte mit anderen Luftfahrzeugen müssen vermieden werden.

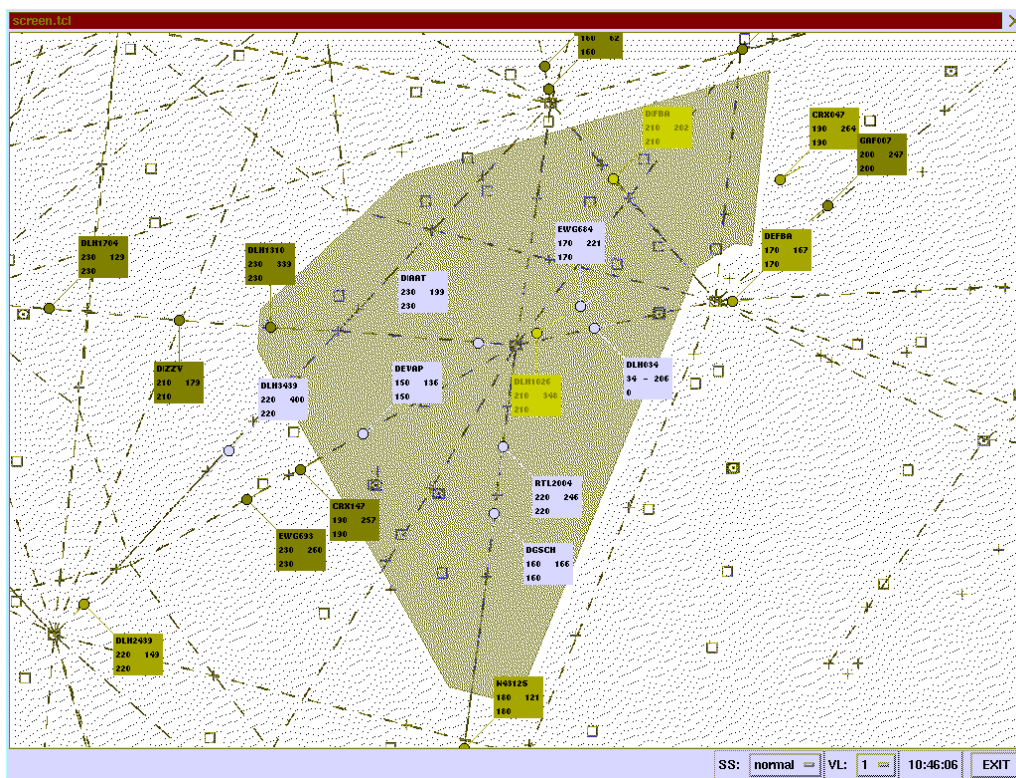
Der kontrollierte Luftraum ist in Sektoren eingeteilt, für die jeweils ein Team aus Radar- und Planungslotse verantwortlich ist. Die Aufgabe des Radarlotsen besteht darin, den Verkehr innerhalb des Sektors zu regeln und gefährliche Annäherungen zwischen Luftfahrzeugen zu verhindern. Dazu steht ihm in erster Linie ein Radarbild zur Verfügung. Er kann durch Anweisungen über Sprechfunk an die Piloten in das Geschehen eingreifen. Er wird in seiner Tätigkeit durch einem Planungsloten unterstützt, dessen Aufgabe es ist, Planungskonflikte zu entdecken und den Luftverkehr in Koordination mit benachbarten Sektoren für den Radarlotsen vorzusortieren. Der Planungslotse benutzt hierfür Flugstreifen, denen Informationen über die Vorplanung zu entnehmen sind.

Das System ist aus der Sicht des Radarlotsen dynamisch strukturvariant. Neue Objekte fliegen in den Sektor ein, andere verlassen ihn. Dadurch müssen fortlaufend neue Konstellationen zwischen Objekten gebildet und bewertet werden. Das System besitzt zudem keine Ruhelage. In Folge ist

eine kontinuierliche Aufmerksamkeit der Fluglotsen auf den Verkehr erforderlich. Die Gedächtnisspanne des Systems ergibt sich aus der Größe des Sektor und der Länge der Flugstraßen.

Bezogen auf die Größe Entfernung einer jeden Paarung zeigt das System integrierendes Verhalten, d.h. die Entfernung nimmt bei ungestörtem System nahezu linear zu oder ab. Aufgrund von Messungenauigkeiten und (geplanten) Änderungen des Kurses von Luftfahrzeugen innerhalb der vorgesehenen Luftstrassen ist der prinzipiell hohe Prädiktionshorizont abhängig von der Stellung der Luftfahrzeuge zueinander, der Position im Verkehrsraum und der Genauigkeit der am Radar mitgeteilten Positionsangaben.

Da potenziell zwischen allen im zu überwachenden Luftraum eine Entfernungsrelation besteht, sind Strategien zur Selektion konfliktbehafteter bzw. zu überwachender Luftfahrzeuge zur Reduzierung der kombinatorischen Komplexität notwendig, die den Aufbau von Wissen über den aktuellen Zustand der Objekte und die Bedeutung der Objekte für die aktuelle Situation erforderlich machen.



**Bild 1 Simulation des Radarbildschirms mit eingeblendetem Farbcodierungen**

Der modellbasierte Ansatz zum SAT wurde im Bereich der Streckenflugkontrolle für das Training von Radarlotsen umgesetzt (Leuchter & Jürgensohn 2000). Es ist für das Selbsttraining konzipiert und kann entweder auf einem Einzelplatzrechner oder in einem Verbund mit anderen Trainees eingesetzt werden. Das System besteht aus einer einfachen Luftraumsimulation, in die über eine „Geisterpiloten“-Konsole eingegriffen werden kann, und einem simulierten Radarbild, das die Flugzeuge, den Sektor und Flugstraßen darstellt (s. Bild 1). Als SAT-Unterstützung werden Farbcodierungen der einzelnen Luftfahrzeuge benutzt, die die Aufmerksamkeitsverteilung und -

steuerung unterstützen sollen. Zur Diagnose der Bedeutung der einzelnen Flugzeuge wird eine Simulation der kognitiven Vorgänge erfahrener Fluglotsen eingesetzt.

Diese Simulation beruht auf einem kognitiven Modell, das die mentale Repräsentation des Verkehrs aufgrund von Informationsaufnahme und -verarbeitungsprozessen abbildet (Niessen & Eyferth 2001). In dieser Repräsentation werden die Flugzeuge oder Konstellationen zwischen ihnen als Resultat einer wissensbasierten Antizipation des weiteren Verlaufes einer von fünf unterschiedlichen Aufmerksamkeitsklassen zugeordnet: „nicht unter Kontrolle“, „Konflikt“, „überwachungsrelevant“, „mit Signal-Eigenschaft“ und „sicher“. Im Verlauf einer Simulation ändert sich durch weitere aufgenommene und in das Bild integrierte Informationen die Zuordnung.

Das kognitive Modell wurde um Funktionen erweitert, die der Simulation erlauben, den aktuellen Zustand des simulierten mentalen Modells der Luftraumsituation als Farbcodierung an das Radarprogramm der Trainingssimulation zu übertragen (s. Bild 1). Aufgrund der zeitlichen Sequenzierung der Verarbeitungsschritte in dem kognitiven Modell entsteht dadurch eine Präsentation der Aufmerksamkeitssteuerung, die dem Trainee erlauben soll, die eigenen Aufmerksamkeitsprozesse durch Induktion weiter zu entwickeln.

## Prozessführung

Die Prozessführung chemischer Anlage zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt der Prozesse aus - die weiteren Ausführungen beschränken sich auf kontinuierlich betriebene Prozesse, die über Prozessleitsysteme geführt werden. An Bedienstationen können alle zugänglichen Daten aus dem Prozess abgerufen, Eingriffe initiiert und der zeitliche Verlauf überwacht werden. Typischerweise sind von den Wartenfahrern aus einer Vielzahl<sup>1</sup> von beobachtbaren Prozessvariablen die für die aktuelle Aufgabe relevanten auszuwählen, abzulesen, zu überwachen und zu einem stimmigen Bild zu verdichten. Abweichungen vom Normalbetrieb müssen rechtzeitig antizipiert werden und Eingriffe so geplant werden, dass sie die Produktion möglichst wenig beeinträchtigen, geringe Energiekosten verursachen und keine Abweichungen in der Produktqualität zur Folge haben. Konflikte mit benachbarten Produktionsanlagen müssen vermieden werden. Typische Bedienhandlungen sind nach Johannsen (1993) Sollwertveränderungen, Änderungen in der Nutzung der Betriebsmittel und Kontrolle der Hilfsaggregate. Hinzu kommen Management von Alarmmeldungen, An- und Abfahren sowie die Planung und Durchführung von Produktwechseln.

Die Prozesse werden üblicherweise von einem Team aus Schichtmeistern, Wartenfahrern und Feldpersonal geführt. Die Aufgabe des im Rahmen dieser Arbeit im Mittelpunkt des Interesses stehenden Wartenfahrers ist es, den Betrieb der Anlage zu überwachen sowie auf Abweichungen vom Normalbetrieb zu reagieren. Dazu stehen ihm verschiedene grafische Darstellungsformen (Grafikbild, Gruppenbild, Trendbild, Meldeprotokoll) des Prozessgeschehens zur Verfügung.

Die kontinuierliche betriebenen Systeme sind zumindest abschnittsweise strukturinvariant, d.h. die Elemente und Beziehungen der Elemente untereinander ändert sich nicht. Durch das Zu- und

---

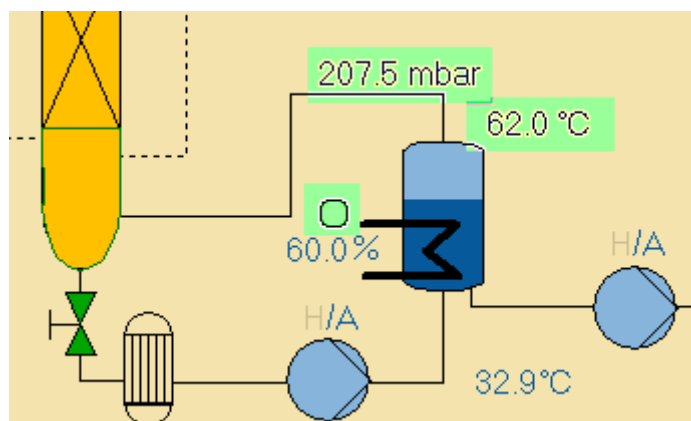
<sup>1</sup> Die Anzahl beobachtbarer Variablen liegt in der Prozessindustrie typischerweise bei 2000 –10000 (Johannson 1993).



Abschalten von Hilfsaggregaten oder die Veränderung stofflicher und energetischer Kopplungen kann sich das Verhalten des Systems und die Bedeutung einzelner Größen für die Situation jedoch in weiten Grenzen ändern (Luyben, Tyreus & Luyben 1999). Zumeist existieren mehrere ausgezeichnete Ruhelagen, die zum einen von der Systemkonfiguration abhängig sind, zum anderen aber oft nur durch den Einsatz von Automatisierungssystemen aufrecht erhalten werden können. Die Gedächtnisspanne des Systems ist im Normalbetrieb im wesentlichen von variablen Stoff- und Energiespeichern abhängig, mit steigendem Automatisierungsgrad sind zunehmend Informationsspeicher zu berücksichtigen. Für eine die Nachbildung des zeitlichen Verhaltens der meisten Prozesse reichen Modelle erster oder zweiter Ordnung mit dominanten Zeitkonstanten und Totzeitglieder aus, so dass in definierten Arbeitsbereichen mit vergleichsweise geringem Aufwand eine hohe Prädiktionsgüte erreicht werden kann.

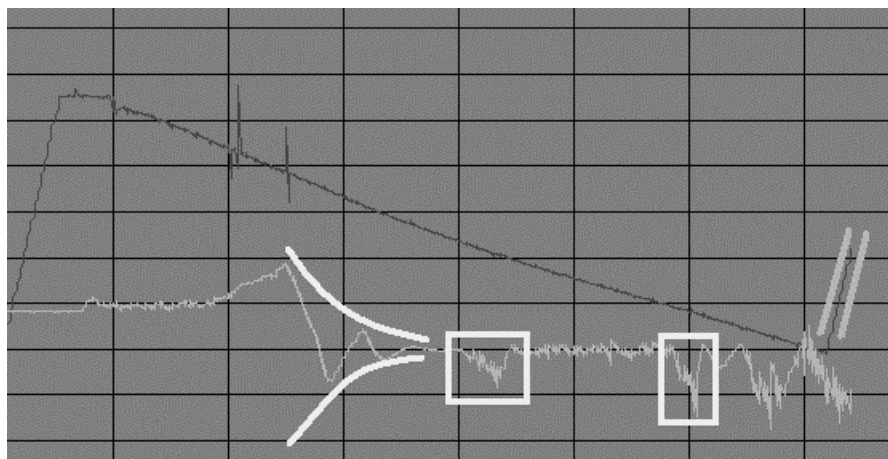
Die varibale Systemstruktur, die zustandsabhängige Gedächtnisspanne des Systems und der zumindest abschnittsweise hohe Prädiktionshorizont sprechen für das gezielte Training von *situation awareness* in der Prozessführungsdomäne. Die zu Trainingszwecken notwendige Auswahl und Bewertung von Daten und Handlungen ist aufgrund der hohen Anzahl von Freiheitsgraden und Eingriffsmöglichkeiten nur in wenigen Systemen und in ausgewählten Szenarien durch endliche Automaten darstellbar, so dass modellbasierte Ansätze zum Einsatz kommen müssen. In Abhängigkeit von der Aufgabencharakteristik sind unterschiedliche Ansätze für die Modellierung eines Prozessführungsexperten erfolgsversprechend: In kleinen Problemräumen mit einem hohen Anteil von Zufallskomponenten kann die Problemlösung des Experten durch eine instanzbasierte Problembearbeitung abgebildet werden. In größeren Problemräumen scheint sich die Problemlöseperformanz eher durch den Erwerb von semantischem Wissen in Form generalisierbarer Beziehungen zwischen Ein- und Ausgangsgrößen abbilden zu lassen (Wallach, 1998).

Für die Aufgaben „Selektion von relevanten Zustandsgrößen“, „Bewertung einzelner Zustandsgrößen“ und „Bewertung von Konstellationen“ ist der Codierungs-Ansatz aus der Flugsicherung direkt übertragbar. In Bild 2 wird durch die (normalerweise nicht sichtbare) grüne Hinterlegung der Größen Druck, Temperatur und Zustand der Heizung B eine positive Bewertung dieser Konstellation durch das Expertenmodell signalisiert.



**Bild 2** Ausschnitt aus einem Grafikbild mit eingblendeten Farbcodierungen zur Aufmerksamkeitssteuerung

Im Gegensatz zur Flugsicherungsdomäne ist darüber hinaus in der Prozessführung zumeist eine explizite Beurteilung dynamischer Vorgänge erforderlich. Eine während der Inbetriebnahme einzelner Aggregate einer Desorptionsanlage durchgeführte Aufgabenanalyse gibt deutliche Hinweise auf die Wichtigkeit des Trendbilds (Bild 3) zur Bewertung zeitlichen Verhaltens. Einzelne Zeitabschnitte werden von den Operateuren kategorisiert und bewertet: „schwingt über, steigt an, Schwankungen sind normal und innerhalb einer tolerierbaren Bandbreite“. Zudem gibt die Analyse erste Hinweise darauf, dass diese Präsentation zeitlicher Sachverhalte geeignet ist, das interne Abbildsystem derart mit Zeitdauern und Verhaltenscharakteristika zu versehen, dass die Modellvorstellung genutzt werden kann, um Vorhersagen über das zukünftige Verhalten der Objekte abzuleiten. In Bild 3 sind einige typische Muster dargestellt und Möglichkeiten für ihre semantische Hervorhebung durch das Expertenmodell skizziert: Der Einschwingvorgang eines gedämpften Teilsystems ist durch seine Abklingkurven hervorgehoben. Die in der Gestalt ähnliche Reaktion auf wiederholte Störungen kann durch einfache Hinterlegung mit rechteckigen Kästen markiert werden. Ein erwarteter linearer Anstieg wird durch Linien parallel zum Signalverlauf angezeigt.



**Bild 3** Ausschnitt aus einem Trendbild mit eingeblendeten Farb- und Formcodierungen

## Ausblick

Erste Erfahrungen mit dem Trainingssystem für die Flugsicherungsdomäne zeigen auf, dass das vorgestellte Konzept einen vielversprechenden Trainingsansatz darstellt. Zur Ableitung von fundierten Aussagen über Effektivität und Effizienz der Ausbildungsform ist eine Evaluation des implementierten Systems geplant.

Zur Verbesserung der Effektivität ist ein fading-Mechanismus für das Trainingssystem geplant, d.h. die Unterstützungsfunktion des Trainingssystems soll mit zunehmender Performanz des Trainees kontinuierlich zurückgenommen werden können. Dies soll den Übergang auf ein operatives System im Regelbetrieb erleichtern.

In der Prozessführungsdomäne stützen die Ergebnisse einer Aufgabenanalyse die anhand systemtechnischer Merkmale durchgeführte a priori Abschätzung der Eignung des SAT-Konzepts für diesen Bereich. Um die Tragfähigkeit des Ansatzes auch experimentell prüfen zu können,

werden derzeit in einer Trainingsumgebung für die Prozessführung verfahrenstechnischer Anlagen (Urbas 1999) die direkt übertragbaren Elemente aus dem Flugsicherungstraining implementiert. Die Implementierung eines quantitativen Modells der Problemlöseperformanz eines Prozessführungsexperten wird durch entsprechende Analysen vorbereitet.

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

## Literatur

- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bass, E.J. (1998). Towards an Intelligent Tutoring System for Situation Awareness Training in Complex, Dynamic Environments. In: B.P. Goettl, H.M. Half, C.L. Redfield & V.J. Shute (Hrsg.). *Intelligent Tutoring Systems. Proceedings of the 4th International Conference, ITS'98, San Antonio, Texas, USA, August 1998*. Berlin: Springer. S. 26 – 35.
- Chappell, A.R., Crowther, E.G., Mitchell, C.M. & Govindaraj, T. (1997). *The VNAV Tutor: Addressing a Mode Awareness Difficulty for Pilots of Glass Cockpit Aircraft*. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Part A, 27(3). S 327-385. Online-Dokument. Letzter Zugriff am 29.3.1999 unter <http://olias.arc.nasa.gov/publications/mitchell/vnav/vnav.html>.
- Endsley, M.R. & Smolensky, M.W. (1998). Situation Awareness in Air Traffic Control: The Picture. In: M.W. Smolensky & E.S. Stein (Hrsg.). *Human Factors in Air Traffic Control*. S. Diego: Academic Press. S. 115 – 154.
- Föllinger, O. (1990). *Regelungstechnik: Einführung in die Methode und ihre Anwendung*. 6. Auflage. Heidelberg: Hüthig.
- Gopher, D. (1993). The Skill of Attention Control: Acquisition and Execution of Attention Strategies. In: D.E. Meyer & S. Kornbloom (Hrsg.). *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: The MIT Press. S. 299 – 322.
- Götte, A. W., Urbas, L., & Wozny, G. (1998). Operatorschulung in der Prozeßtechnik - Status, Trends und Anwendungen. In *Tagungsband Oberhausener UMSICHT-Tage 1998: Rechneranwendungen in der Verfahrenstechnik, 15.-16.9.1998, Oberhausen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB. S. 11.1 – 11.11
- Hauß, Y., Gauss, B. & Eyferth, K. (in Druck). SALSA: a new approach to measure situation awareness in air traffic control. In: *Proceedings of the 11th symposium on aviation psychology, Columbus, OH*.
- Johannsen G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer-Verlag
- Jones, R.M. (1999). Graphical Visualization of Situational Awareness and Mental State for Intelligent Computer-Generated Forces. In *Proceedings of the Eighth Conference on Computer*

*Generated Forces and Behavioral Representation*. Orlando, FL. S. 219 – 222. Online-Dokument. Letzter Zugriff am 15.10.2001 unter <http://www.soartech.com/htmlonly/publications/papers/cgf99-sap.pdf>

Kenney, P.J. & Saito, T. (1994). *Results of a Survey on the Use of Virtual Environment Technology in Training NASA Flight Controllers for the Hubble Space Telescope Servicing Mission*. Online-Dokument. Letzter Zugriff am 1.4.1999 unter <http://www.vetl.uh.edu/Hubble/longpaper.html>.

Kluwe, R.H. (1990). Problemlösen, Entscheiden und Denkfehler. In C. Graf Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.). *Ingenieurspsychologie*. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Band 2. Göttingen: Hogrefe. S. 121 – 147.

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: Group D. S. 275 – 281.

Luyben, W.L., Tyreus, B.D. & Luyben, M.L. (1999). *Plantwide Process Control*. New York, NY: McGraw-Hill.

Niessen, C. & Eyferth, K. (2001). A model of the air traffic controller's picture. *Safety Science* 37. 187–202.

Norman, A.D. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A.L. Stevens (Hrsg.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Urbas, L. (1999). *Entwicklung und Realisierung einer Trainings- und Ausbildungsumgebung zur Schulung der Prozeßdynamik und des Anlagenbetriebs im Internet*. Dissertation. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 19, Nr. 614. Düsseldorf: VDI-Verlag

Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse: eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: DUV