

Autonomie und dynamische Koordination in kooperativen Systemen

Ingo J. Timm

Universität Bremen

Technologie-Zentrum Informatik (TZI)

Universitätsallee 21-23, 28359 Bremen

itimm@acm.org

Abstract

Neue Entwicklungen im Internet werden zu sehr heterogenen artifiziellen Gesellschaften führen, die nicht ausschließlich aus Agentenanwendungen bestehen, sondern zu einem großen Teil auch einfache und intelligente Dienste beinhalten, welche im Rahmen des eBusiness sowie des Semantic Web entstehen. Diese werden mit einer hohen Dynamik konfrontiert sein, da die teilnehmenden Dienste und Agentenanwendungen durch Mobilität sowohl im physischen Raum als auch im Internet ad hoc Netzwerke und Gruppen bilden. Die hohe Dynamik und Heterogenität hat hierbei Auswirkungen auf die Autonomie sowie die Kommunikation der einzelnen Agenten. Ohne eine effiziente Koordination und einen Zielabgleich zwischen vorgegebenen und selbst entwickelten Zielen droht eine solche Agentengesellschaft jedoch außer Kontrolle zu geraten.

Innerhalb dieses Beitrags werden die Konzepte Autonomie und Koordination mit Hinblick auf diese Entwicklungen diskutiert. Ferner wird eine Agentenarchitektur zur Konfliktbehandlung (Diskursagent) vorgestellt, die einen Ausgangspunkt für die Lösung der entstehenden Probleme darstellen kann. Abschließend wird auf der Basis einer Evaluation der Diskursagenten ein Ausblick gegeben, der notwendige Forschungsfelder aufzeigt.

1. Einleitung

Neue Entwicklungen im Internet werden zu sehr heterogenen artifiziellen Gesellschaften führen, die nicht ausschließlich aus Agentenanwendungen bestehen, sondern zu einem großen Teil auch einfache und intelligente Dienste beinhalten, welche im Rahmen des eBusiness sowie des Semantic Web entstehen. Diese werden mit einer hohen Dynamik konfrontiert sein, da die teilnehmenden Dienste und Agentenanwendungen durch Mobilität sowohl im physischen Raum als auch im Internet ad hoc Netzwerke und Gruppen bilden. Hohe Dynamik und Heterogenität können die Autonomie der einzelnen Agenten und die Koordination im jeweiligen System erheblich beeinträchtigen. Ohne eine effiziente Koordination und einen Zielabgleich zwischen vorgegebenen und selbst entwickelten Zielen droht eine solche Agentengesellschaft deshalb außer Kontrolle zu geraten. Diesen Entwicklungen muss auf der softwaretechnischen Seite mit expliziter Betrachtung von Autonomie und dynamischer Koordination begegnet werden. Dabei spielen insbesondere aus dynamischen Kontexten entstehende Konflikte eine Rolle. Intelligente Agenten sollten so gestaltet werden, dass sie in der Lage sind, explizit und dynamisch Interessens- und Zielkonflikte zu erkennen, bewerten und aufzulösen. Hier wird nach Diskussion von Autonomie und Koordination ein allgemeiner Ansatz zur Konfliktlösung eingeführt, der mit Hilfe einer prototypischen Realisierung extensiv untersucht wurde.

Die im Folgenden diskutierten Eigenschaften bzw. Fertigkeiten von Agenten beziehen sich zum einen auf die Entscheidungsfindung innerhalb eines Agenten (Autonomie) und zum anderen auf die Interaktion des Agenten mit anderen Entitäten (dynamische Koordination), die sich innerhalb des Systems bewegen.

1.1 Autonomie

Eine wesentliche Eigenschaft, die Softwareagenten zugeschrieben wird, ist Autonomie, d.h. die Agenten agieren selbständig ohne direkte Intervention von Menschen und anderen Entitäten und haben zumindest eine partielle Kontrolle über ihr Verhalten und ihren Zustand, vgl. (Wooldridge & Jennings, 1995), (Ferber, 1999), (Tecucci, 1998). Agenten werden insbesondere in solchen Anwendungen eingesetzt, in denen die Komplexität der Aufgabe und die Dynamik der Umgebung einer vorprogrammierten Verhaltensweise nicht adäquat ist. Daher werden Agenten so gestaltet, dass sie eine gewisse Autonomie realisieren, d.h., dass der Auftraggeber dem Agenten nicht einen Plan *mit auf den Weg gibt*, sondern dass der Agent über eigenständige Planungsalgorithmen verfügen muss (Kalenka & Jennings, 1997). Im Verlauf seiner *Arbeit* wird der Agent also nicht direkt von außen gesteuert, erhält durch die eigene Planung und seine Unabhängigkeit im Handeln einen gewissen Grad an Autonomie (Weiß, 1999). Russel & Norvig (2003) beschreiben Autonomie wie folgt:

“To the extent that an agent relies on the prior knowledge of its designer rather than on its own percepts, we say that the agent lacks autonomy.” (Russel & Norvig, 2003, S. 37)

In aktuellen Forschungsarbeiten werden unterschiedliche Grade der Autonomie betrachtet (Musliner & Pell, 2000), (Müller, 1996). Castelfranchi *et al.* (1992) diskutiert insbesondere in frühen Arbeiten zu Autonomie einen sehr hohen Grad, der einen Einfluss von vorgegebenen Normen, Verhaltensweisen und Prozeduren als irrelevant für die Aktionsauswahl festlegt.

Allerdings ist die Autonomie eine Eigenschaft, die zu einer partiellen Unkontrollierbarkeit des Gesamtsystems führen kann, wenn die Agenten widersprüchliche oder nicht abgestimmte Zielsetzungen generieren und verfolgen. Dies wird durch die Dynamik der Vernetzung, insbesondere auch durch Mobilität der Agenten, verstärkt, die es verhindert, zur Entwurfszeit die genaue Zusammensetzung der Agentengesellschaften zu kennen und entsprechend die Zielsetzungen der individuellen Agenten zu entwerfen.

In heterogenen und dynamischen Gesellschaften mit autonomen Agenten stellen sich Entscheidungen nicht so konfliktfrei dar, wie es erste Ansätze zur Agententechnologie formulierten. Ein autonomer Agent in einer solchen Gesellschaft muss deshalb über effektive Konfliktlösungsmöglichkeiten verfügen und dabei seine Ziele in Frage stellen und neue Ziele generieren können. Die o.g. Unkontrollierbarkeit von Agentengesellschaften zeigt sich daran, dass diese Zielkonflikte nicht in allen Situationen zu Gunsten des Auftraggebers aufgelöst werden. Die Resolution von Konflikten sollte hierbei nicht nur zu einer Entscheidung für das eine oder das andere Ziel führen, sondern auch die Generierung von neuen Zielen als Kompromisse ermöglichen. Neue Forschungsansätze in diesem Bereich sollten die (partiell) autonome Wahl und Erzeugung von Zielen und Absichten in Konfliktsituationen transparent gestalten und ihre Wirkung auf die Kontrollierbarkeit von dynamischen Agentengesellschaften untersuchen.

1.2 Zielkonflikte

Nach Heinen wird eine Organisation mit drei Systemen beschrieben: Zielsystem, Sozialsystem und Informationssystem (Heinen, 1993). Sie werden durch verschiedene wissenschaftliche Disziplinen (Institutionalethik, Organisationslehre bzw. Wirtschaftsinformatik) abgedeckt. Wegen der engen Beziehungen zwischen diesen drei Systemen und deren Auswirkungen auf lokale wie globale Entscheidungen und Strategien sollte auch eine in diesem Bereich eingesetzte Agententechnologie allen drei Systemen gerecht werden. So betont schon Kubicek (1979) die Bedeutung der Integration dieser

Aspekte durch partizipative Gestaltung bei der Konstruktion erfolgreicher Informations- und Kommunikationssysteme. Für die Realisierung innovativer Informationssysteme hat die explizite Berücksichtigung des Zielsystems eine besondere Bedeutung. Dabei finden sich vielfach *inkonsistente* und sich widersprechende Ziele, die ausbalanciert werden müssen. Beispiele sind „stakeholder-“ und „shareholder-value“, Reduktion der Kapitalbindung und Verkürzung der Bereitstellungszeiten. Auf der operativen Ebene sind Zielkonflikte häufig explizit vorgegeben. Ein betriebliches Beispiel ist der Konflikt zwischen der Forderung nach einer guten Auslastung der Maschinen und einer kurzen Durchlaufzeit in der Fertigung. Diese Situation ist in Abbildung 1¹ visualisiert. Sie zeigt, dass eine hohe Auslastung bei großem Auftragsbestand möglich ist, der aber gleichzeitig zu längeren Durchlaufzeiten (Staus bei kritischen Maschinen) führt. Umgekehrt erreicht man kurze Durchlaufzeiten bei kleinem Auftragsvolumen und geringer Auslastung, da dann die einzelnen Maschinen unverzüglich den jeweiligen Auftrag abarbeiten können. Dabei ist zu beachten, dass der „human factor“ eine große Rolle spielt, so dass sich dieser Zielkonflikt in der betrieblichen Praxis unmittelbar um Konflikte in der Anforderung an die Maschinenführer ausweitet (Überstunden, Arbeitstakt, Pausenregelung usw.).

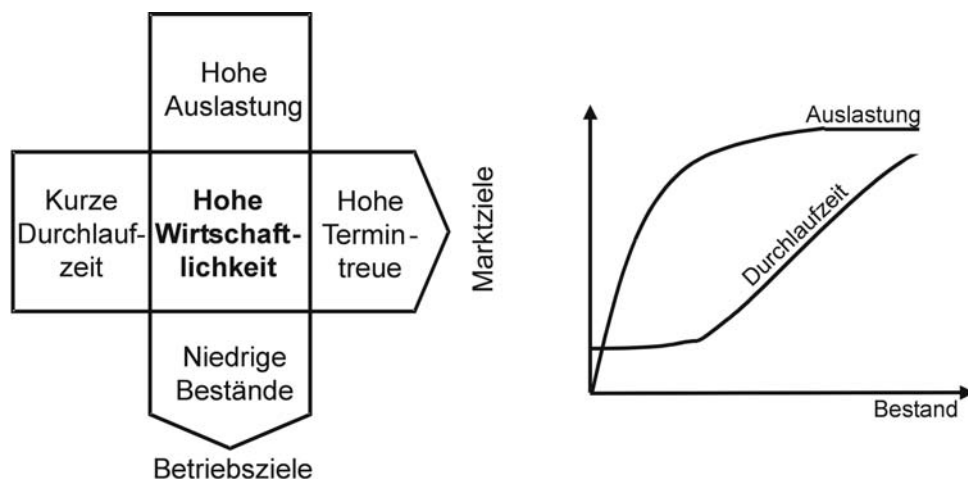


Abbildung 1: Zielkonflikte in der Fertigung

Beim Einsatz von Agententechnologie in diesem Feld ist zu bedenken, dass es sich um einen Schnittbereich zwischen Zielsystem und Informationssystem handelt. Dabei sollten auch das Sozialsystem und die Vorteile partizipativer Verfahren berücksichtigt werden. Dies erfordert für die Akzeptanz eines solchen Multiagentensystems eine konstruktive Konfliktlösungsstrategie, die für die beteiligten Menschen transparent ist. Gesucht sind aus diesem Grunde Methoden zur Behandlung, Lösung oder Vermeidung von Zielkonflikten, die sich dabei am menschlichen Verhalten orientieren.

1.3 Dynamische Koordination

Die steigende Mobilität von Softwareagenten und zunehmende Verbreitung von ad hoc Netzwerken führen dazu, dass Gruppen von Softwareagenten in ihrer Zusammensetzung und somit ihren kollektiven Fertigkeiten einer hohen Dynamik ausgesetzt sein werden. Informationen und Regeln, die für die Interaktion der Agenten verfügbar sind, gelten in ad hoc Netzwerken oft nur lokal. Die Agenten müssen auf der einen Seite in der Lage sein, in

¹ In Anlehnung an Wiendahl & Mittendorf (2000, Seite 1f).

heterogenen Gruppen Fertigkeiten zu spezifizieren und diese anzubieten (dynamische Teambildung). Auf der anderen Seite sollten Agenten lokale Bedingungen in ihrem Kooperationsverhalten angemessen berücksichtigen. Wird von einem dynamischen Team ein Problem gelöst, ist es notwendig, eine angemessene Kommunikation für das Feedback sowie eine Belohnung innerhalb der Gruppe zu generieren, damit die Agenten über den Erfolg ihrer Teilnahme an der Gruppe entscheiden können.

Wird in einer Gruppe von z.T. mobilen Agenten, die über ein ad hoc Netzwerk verbunden sind, eine Aufgabe zur Lösung angenommen, kann sich die Zusammensetzung der Gruppe während der Problemlösung ändern. Daher gehen wir davon aus, dass es notwendig ist, über neue Kommunikationsformen wie die „aktive“ Kommunikation nachzudenken. Hierbei wird die Kommunikation einer Gruppe durch mediatorische Funktionalitäten organisiert, die in der Lage sind, Veränderungen der Gruppenzusammensetzungen zu erkennen. Falls eine Fertigkeit, die zur Problemlösung notwendig ist, durch Migration ausfällt, wird diese Funktionalität, die wir als „aktive“ Kommunikation bezeichnen, in föderierten Agentengesellschaften nach einem entsprechenden Agenten suchen und diesen einladen, an der Problemlösung zu partizipieren.

Letztendlich wird nach erfolgreicher Problemlösung die Gruppe ein Feedback erhalten. Dieses Feedback, welches in elektronischen Marktplätzen auch monetär sein kann, muss zwischen den an der Problemlösung beteiligten Agenten verteilt werden (Distribution).

1.4 Dynamische Welt

Die Wirtschaftswissenschaft und insbesondere die Wirtschaftsinformatik verwendet Modellierungs- und Analysierungsansätze, wie Spieltheorie, Entscheidungstheorie oder Prozessmodellierungsmethoden. Sie wurden entwickelt, um die Entscheidungsfindung in einer sich schnell ändernden also dynamischen Welt zu verbessern. Zusätzlich besteht über diese Änderungen und die neuen Randbedingungen oft Unsicherheit (Risikomanagement). Bei der Anwendung von Agententechnologie fehlen jedoch Methoden zur Entwicklung von Agentensteuerungsmechanismen, die eine Adaptation einer mittelfristigen Strategie (z.B. durch Modifikation der Zielaktivierungsfunktionen) ermöglichen und damit eine Optimierung zwischen langfristigen unternehmerischen Zielen und kurzfristigen Änderungen der Umwelt (z.B. Marktschwankungen) realisieren. In den Termini der Agententechnologie handelt es sich dabei um eine Balance zwischen deliberativem und reaktivem Verhalten. Hierbei müssen eingesetzte Agenten fähig sein, angemessen und in *Echtzeit* in den zu Grunde liegenden partiell emergenten Plänen mit kritischen Pfaden, Engpässen und Ausfallrisiken (z.B. Unfälle) umzugehen. Ein besonderes Problem stellt die zentrale Rolle der Kommunikation dar. Im Rahmen von Standardisierungen, z.B. FIPA (1996) oder XML (W3C, 2002), werden hierfür verschiedene Aspekte festgelegt, die das Austauschformat und die Struktur sowie die Abfolge von Nachrichten festlegen. Während Struktur und Format notwendige Bestandteile einer Standardisierung sind, bedeutet die Festlegung der Abfolge von Nachrichten in Kommunikationsprotokollen eine zusätzliche Einschränkung. Diese Schwierigkeiten haben ein besonderes Gewicht bei der verteilten Planung in Multiagentensystemen (Pechoucek, 2003, Seite 2). Unterschiedliche Partner können unterschiedliche Kommunikationsgewohnheiten haben, was zum einen aus den heteoregenen Umfeldern entsteht. Andererseits wird dieses explizit zur Differenzierung von Angeboten im Bereich elektronischer Märkte gefordert (Lee *et al.*, 2003). Als Beispiel soll ein Einkaufsagent herangezogen werden, der in internationalen, ihm unbekanntem Märkten operiert und sich auf die im jeweiligen lokalen und zeitlich veränderlichen Markt üblichen Verhandlungsstrategien

einstellen muss. Die Agenten sollten in der Lage sein, sich auf solche Unterschiede dynamisch einzulassen und ihr Kommunikationsverhalten entsprechend zu verändern.

2. Architektur *Diskursagent*

In diesem Abschnitt wird eine Agentenarchitektur zur Konfliktbehandlung (*Diskursagent*) vorgestellt, die einen Ausgangspunkt für die Lösung der o.g. Probleme darstellen kann. Diese Architektur wurde innerhalb von Forschungsprojekten des Technologie-Zentrum Informatik (TZI) der Universität Bremen entwickelt und basiert auf einer formalen Definition und Spezifikation (Timm, 2003). Hierbei werden im Wesentlichen drei Schichten eingeführt (s. Abbildung 2): die Kommunikations- (Communicator), die Steuerungs- (Controller) und die Ausführungsschicht (Executor).

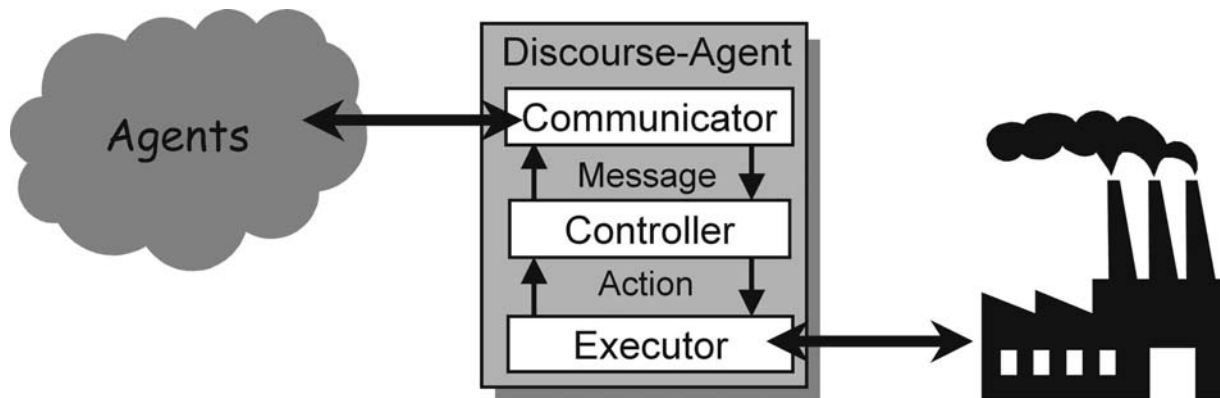


Abbildung 2: Abstrakte Architektur "Diskursagent"

2.1 Die Schichtenarchitektur

Die Kommunikationsschicht (Communicator) sichert die Kommunikation zu den anderen Agenten im System. Sie wird über generische Sprechakte direkt von der Steuerung angesprochen. Die generischen Sprechakte werden unter Berücksichtigung des Gesprächspartners in eine Agentenkommunikationssprache transformiert und anschließend übertragen. Die eingehenden Nachrichten werden in der Kommunikationsschicht entschlüsselt und an die Steuerung weitergereicht. In einer realen Anwendung wird die Kommunikationsschicht durch ein Agenten-Toolkit substituiert (z.B. JADE²), das die wesentliche Interaktion zwischen den Agenten sicherstellt.

Die ausführende Ebene (Executor) verhält sich analog zu der Kommunikationsebene. Hier werden alle exportierten Methoden und Attribute der beteiligten internen Systeme, wie Informationssysteme, Datenbanken, oder Hardwaresteuerungssystemen zur Verfügung gestellt. Die Ausführungsschicht dient also als Schnittstelle zum internen System des Nutzers. In einer hierarchischen Realisierung des Agentensystems, d.h. einer Realisierung von Agenten durch Agentensysteme, ist die Ausführungsschicht beinahe so aufgebaut wie die Kommunikationsschicht. Die Schicht ist folglich zuständig für die Interaktion mit den jeweils untergeordneten Agenten.

Das wesentliche Element der *Diskursagenten* ist die Steuerungsschicht (Controller). In dieser Ebene werden die generischen Aktionen in der Kommunikations- und Ausführungsschicht aktiviert, deren Ausführung überwacht und das Ergebnis in die Wissensbasis des Agenten eingefügt. Die Steuerung soll insbesondere das deliberative, pro-aktive und reaktive Verhalten eines Agenten definieren. Ein essentieller Bestandteil der Steuerung von *Diskursagenten* ist die explizite Behandlung von Zielkonflikten. Die Steuerung beinhaltet ein

² <http://jade.tilab.com/>, Abruf am 1.2.2004

Konfliktresolutionsschema, anhand dessen Konflikte zwischen Zielen erkannt und aufgelöst werden können. Die Modellierung dieses Aspektes erfolgt im *cobac*-Ansatz (conflict-based agent control) und wird im nächsten Abschnitt diskutiert. Der Controller übernimmt aber auch die Steuerung von Konversationen, d.h. es werden zwar nicht die Sprechakte übertragen, aber die Abfolge der Sprechakte sowie die Selektion des Inhalts einer Nachricht wird in dieser Ebene bestimmt. Ein adaptives Kommunikationsverhalten wird durch den *oac*-Ansatz (open, adaptive communication) realisiert; ein detaillierter Überblick zu dem *oac*-Ansatz findet sich in (Timm, 2004).

2.2 Die Verhaltenssteuerung

Die Formalisierung und Spezifikation von Diskursagenten erweitert das Konzept von BDI-Agenten (Rao & Georgeff, 1995). Die Steuerung der *Diskursagenten* folgt dem in Abbildung 3.4 dargestellten Ablauf, welcher analog zu der Verhaltenssteuerung von BDI-Agenten ist. Auf der Basis neuer Wahrnehmungen wird der lokale Zustand des Agenten, bestehend aus Wissen, Zielen, Strategie und Plänen, revidiert (reflect). Der lokale Zustand ist die Ausgangsbasis für die Entscheidungsfindung des Agenten (decide). Die Entscheidungsfindung konstruiert Absichten, die in der Phase der Ausführung (execute) im Rahmen eines Plans verfolgt werden.

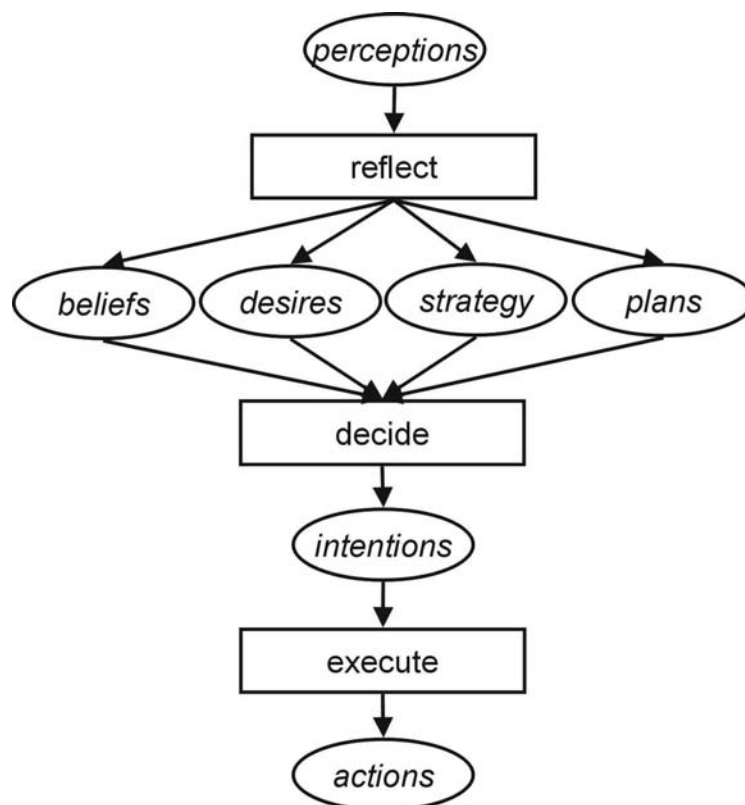


Abbildung 3: Verhaltenssteuerung im Diskursagent

Eine wesentliche Unterscheidung ergibt sich in der Ausgestaltung der Entscheidungsfunktion, welche auf Basis eines Zustands eine neue Absicht auswählt (decide). Diese wird durch einen expliziten und dynamischen Konfliktmanagementalgorithmus substituiert, der im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

3. Konfliktmanagement

Das Problem von Ziel- und Interessenskonflikten tritt sowohl innerhalb eines Agenten als auch bei der Koordination von Agenten auf. Diese beiden Problemfelder werden separat in der Architektur der Diskursagenten gelöst. Die offene adaptive Kommunikation stellt hierbei die Grundlage für die Lösung externer Konflikte dar. Hierzu wird generell auf (Timm, 2004) verwiesen. Mit dem Hilfsmittel der offenen adaptiven Kommunikation können externe Probleme internalisiert werden, so dass die Aufarbeitung interner Konflikte das zentrale Problem darstellt.

In der Literatur wird zunehmend der Aspekt der rollenbasierten Interaktion diskutiert (vgl. z.B. Cabri *et al.*, 2003). Im Sinne eines solchen Ansatzes ist die Veränderung von Rollen ein wichtiges Problem. Der *cobac*-Ansatz löst so interpretiert das Problem dynamischer Rollenadaptation.

Der Diskursagent ist speziell für die Behandlung von Zielkonflikten entworfen worden. Die im vorigen Abschnitt eingeführte Verhaltenssteuerung wird im entsprechenden Schritt (decide) hierfür, wie in Abbildung 4 dargestellt, erweitert.

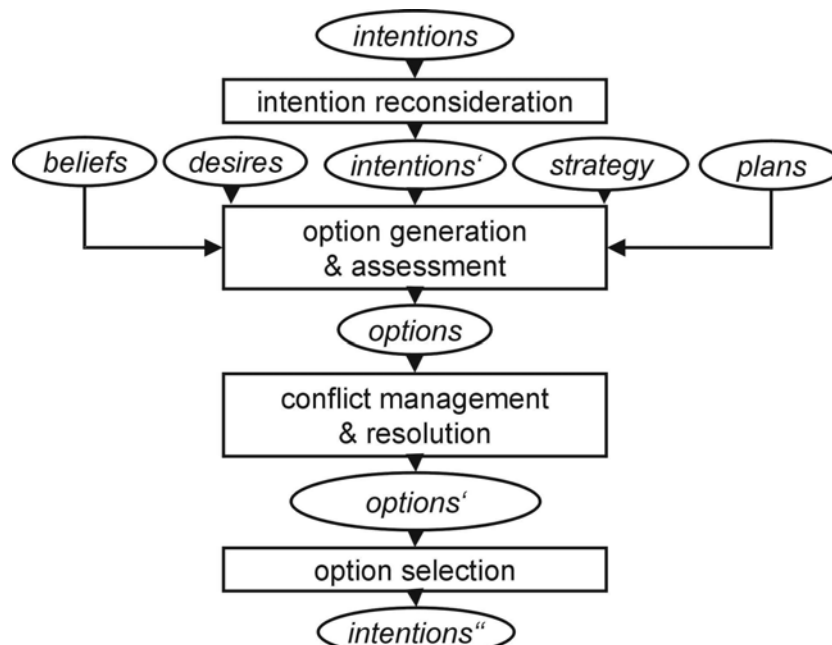


Abbildung 4: Ablauf der konfliktbasierten Agentensteuerung (cobac)

Die Entscheidungsfindung in *Diskursagenten* lässt sich in die folgenden vier Phasen einteilen, die in Abbildung 3.6 dargestellt sind:

1. Revision der Absichten
2. Generierung und Bewertung der Optionen
3. Konfliktmanagement und -resolution
4. Selektion von Optionen

Die erste Phase führt eine Absichtenrevision durch. Dieser Schritt soll verhindern, dass der Agent Absichten verfolgt, die aus der aktuellen Situation heraus nicht mehr erfüllbar sind. Dieses kann in der hier vorliegenden Formalisierung aber auch das Entfernen erreichter Absichten einschließen, da der Erfolg von Aktionen über die Wahrnehmung in der lokalen Zustandsänderung registriert wird und erst in dieser Phase verarbeitet wird. Die Grundlage für

die Generierung von Optionen bilden die revidierten Absichten. In der zweiten Phase werden jene Ziele, die noch nicht durch eine Absicht verfolgt werden, auf Erfüllbarkeit überprüft. Die bereits aktivierten Absichten und die erfüllbaren Ziele bilden die Menge der Optionen, die in der nächsten Phase entsprechend der Gewichtungsfunktion bewertet werden. Hierbei wird jedem Ziel ein Gewicht zugeordnet, das dessen zu erwartenden Nutzen bei Erreichen des Ziels (deliberatives Gewicht), zu erwartende Kosten bei Nicht-Verfolgen des Ziels (reaktives Gewicht) und die Benutzerrelevanz gemäß der Strategie integriert. Das Ergebnis dieser Phase ist eine nach steigendem Gewicht geordnete Menge von Optionen. Diese ermöglicht es, innerhalb der Optionenauswahl, Ziele in der Reihenfolge ihrer Prioritäten (Gewichte) zu berücksichtigen.

Die Berechnung von Synergie- und Konflikt erfolgt anhand der geordneten Optionenliste. Es werden alle Optionen paarweise auf potentiellen Konflikt und potentielle Synergie untersucht und eine entsprechende Bewertung generiert. Über alle Optionen wird ein globaler Wert für Konflikt und Synergie berechnet, der im Schritt des Konfliktmanagements minimiert (Konflikt) bzw. maximiert (Synergie) wird. Abschließend werden nur solche Optionen als mögliche Absichten zugelassen, deren Gewicht einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet.

3.1 Anforderungen an ein (internes) Konfliktmanagement

Innerhalb eines Agenten soll ein dynamisches Konfliktmanagement die Möglichkeit eröffnen einerseits die eigenen Ziele dynamisch zu verändern bzw. neue Ziele zu selektieren. Andererseits soll er in der Lage sein, mit konfligierenden Zielen umgehen zu können. Konfliktmanagement bedeutet dabei die Fähigkeit die Konflikte zwischen den Zielen zu identifizieren, sie zu klassifizieren und zu bewerten. Je nach Gewichtung der Ziele und der Klassifikation des Konflikts sollte der Agent in der Lage sein autonom eine Konfliktlösung zu berechnen. Dabei ist eine Auswahl aus einer ganzen Reihe von Lösungswegen zu treffen, die den Konflikt „eskalieren“ bzw. „deeskalieren“ und entsprechend eine Resolution des Konflikts erreichen. Als Referenz kann hier die interpersonale Konflikttheorie herangezogen werden, die je nach Gewichtung der Ziele z.B. Kompromissbildungen, neue Problemlösungen, Entgegenkommen, Vermeidung und Auseinandersetzungen mit Durchsetzung eines der Ziele anbietet, vgl. (Vliert, 1997) sowie Abschnitt 5. Die bereits darin angelegte Dynamik der Zielfindung wird ergänzt durch dynamische Aspekte, die dem Nutzer Interaktionsmöglichkeiten eröffnen bzw. die sich aus der jeweiligen Situation ergeben. Der Nutzer sollte in der Lage sein, zur Laufzeit neue Ziele zu definieren, neue Gewichtungen vorzunehmen und die strategische Ausrichtung (Balance zwischen reagierendem und planendem Verhalten) zu verändern. Die laufende Bewertung der Situation bezieht sich auf den Fortschritt in der Ausführung der eigenen Planung, die eine Bewertung der Erreichbarkeit des Ziels einschließt. Zugleich muss die Veränderung der Umwelt und ihrer Wahrnehmung berücksichtigt werden.

3.2 Konfliktmanagement und -resolution

Um das Problem divergierender Ziele zu lösen, wird eine konfliktbasierte Agentensteuerung (*cobac*) vorgestellt, die explizite Konflikte berücksichtigt. Für das Konfliktmanagement ist nicht nur die Konkurrenz von Zielen, sondern auch deren Synergie von Interesse. Die Synergie ergibt sich für jede Optionen aus übereinstimmenden Teilzielen mit dem kumulierten Ziel aller Optionen (vgl. Abbildung 5a). Das Konfliktpotential wird auf der Basis der widersprechenden Ziele berechnet (vgl. Abbildung 5b). Diese Berechnungen sind vergleichbar zu der Berechnung von Ähnlichkeiten im Case-based Reasoning und unterliegen in einer konkreten Ausgestaltung des Algorithmus der Wissensrepräsentationssprache und domänenspezifischen Rahmenbedingungen.



Abbildung 5: Berechnung von Konflikt und Synergie

Im letzten Schritt findet das Konfliktmanagement bzw. die Konfliktresolution paarweise statt. Hier werden Konflikt- und Synergiepotential sowie reaktive und deliberative Gewichtung verwendet um festzulegen, bei welchen Paaren der Optionen sich eine bestimmte Konfliktlösung eignet. Die Konfliktlösungsstrategien werden hierbei durch das in Abbildung 6 dargestellte Konfliktresolutionsschema ausgewählt. Hierbei bezeichnet $\gamma(o_i)$ die Bewertung der Option o_i im aktuellen Zustand. ψ ist der Quotient aus Konfliktpotential und Synergiepotential; ein hoher Wert von ψ symbolisiert einen hohen Konfliktwert im Verhältnis zu einem eher geringen Synergiewert, ein niedriger Wert von ψ zeigt einen eher hohen Synergiewert der Ziele bei einem geringen Konfliktwert.

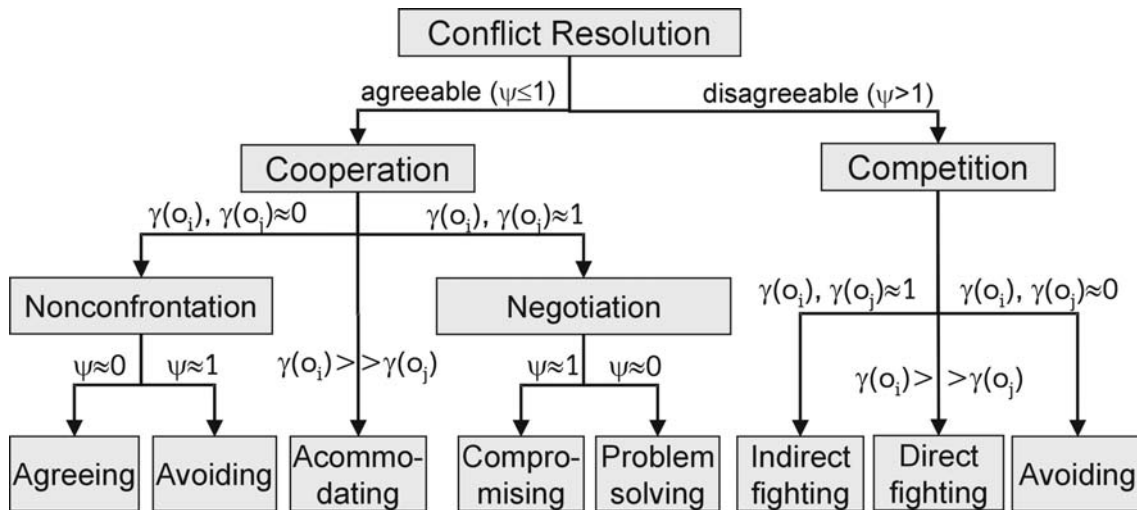


Abbildung 6: Konfliktresolutionsschema

Für die gesamte Liste der Optionen kann entsprechend eine Gesamtbewertung der Konflikt- und Synergiepotentiale definiert werden. Die Blätter in diesem Baum zeigen die empfohlene Konfliktlösungsstrategie. Die Ausgestaltung dieser Strategien findet in der domänenspezifischen Individualisierung des Agenten statt. Der generelle Ansatz geht davon aus, dass eine Option durch eine Menge zu erreichender Zielzustände, eine Menge alternativer Absichten zur Zielerreichung, eine Menge von Vorbedingungen sowie eine Menge von Nachbedingungen bestimmt wird.

Eine Spezifikation des *cobac*-Algorithmus, die auch prototypisch umgesetzt wurde, schlägt die folgende Resolution für die einzelnen Blätter vor; Details in formaler Repräsentation finden sich in (Timm, 2003):

- **Agreeing:**
Die Auflösung eines Konflikts wird durch Übereinkunft auf die gemeinsamen Ziele realisiert, d.h. es werden die bisherigen Ziele durch eine neue Option substituiert, deren Ziel dem Durchschnitt der beiden Ausgangsziele entspricht. Die neue Option erhält als Gewichtung das Maximum der Einzelgewichte.
- **Compromising:**
Bei einer Kompromissbildung wird eine Schnittmenge der beiden Zielmengen gebildet. Nun wird entsprechend eine neue Absicht definiert, die diese erreichen soll. Bei der Suche nach einem geeigneten Plan werden jene Pläne selektiert, deren Ausführung möglichst wenig widersprüchliche Aussagen der Zielmengen modifizieren und möglichst alle Aussagen des Durchschnittes der beiden Ziele erfüllen.
- **Avoiding:**
Eine Zielkonfliktvermeidung bedeutet, dass beide Optionen aus der weiteren Betrachtung entfernt werden, d.h. dass diese erst bei einer signifikanten Änderung ihrer Bewertungen bzw. der aktuellen Überzeugung des Agenten erneut als Option betrachtet werden. Die interpersonale Konfliktstrategie wird hier im Konfliktresolutionsschema insofern abgeändert, dass diese Strategie auch verwendet wird, wenn beide Ziele eine sehr geringe Bewertung haben und eher konfligierend zueinander sind.
- **Accommodating:**
Das „Entgegenkommen“ bezieht sich hierbei auf zwei Optionen, von denen die eine als hoch und die andere als gering bewertet ist. Es wird davon ausgegangen (vgl. ψ -Wert), dass es eine hohe Übereinstimmung der beiden Ziele gibt. Die geringer bewertete Option wird zu Gunsten der höher bewerteten aus der weiteren Betrachtung entfernt und gibt ihre Bewertung an die höher bewertete Option ab.
- **Problem Solving:**
Sind beide Optionen hoch bewertet und erscheint eine gemeinsame Planung sinnvoll, da ein hohes Synergiepotential vorliegt, soll eine individuelle Planung auf der Basis der vereinigten Zielzustandsmengen durchgeführt werden. Die Gewichtungen werden ebenfalls kombiniert. Es ist davon auszugehen, dass dieser Schritt viel Rechenzeit beansprucht und nur die hohe Gewichtung sowie die hohe Synergie diesen Aufwand rechtfertigen. Die Bewertung ergibt sich durch Kombination der Einzelbewertungen.
- **Direct Fighting:**
Liegt in einer kompetitiven Situation, also einem hohen ψ -Wert, ein signifikanter Unterschied der Gewichtungen insofern vor, dass eine Option als hoch und die andere als sehr niedrig bewertet ist, wird die geringer bewertete Option aus der weiteren Betrachtung entfernt, jedoch wird die Gewichtung der übrig bleibenden Option um den Wert der anderen verringert.
- **Indirect Fighting:**
In einer kompetitiven Situation führt eine beinahe analoge aber nicht unsignifikante Gewichtung der Optionen dazu, dass beide Optionen unverändert erhalten bleiben. Eine Auswahl der Optionen erfolgt erst im nächsten Schritt auf der Basis der Bewertungen der übrigen Optionen.

Nachdem die Konflikt- und Synergiepotentiale neu berechnet sind, wird das (lokal) optimale Ziel aktiviert, also die Option, die die höchste Bewertung nach der Konfliktresolution erhalten hat.

3.3 Ein Beispiel zur Veranschaulichung

Im Folgenden wird der grundsätzliche Ansatz zur Konfliktklassifikation anhand eines Beispiels aus der Academia verdeutlicht. Hierbei geht es um die Überprüfung der Lernleistung eines Studenten. Die Form der Überprüfung soll zwischen Studenten, Assistenten und Professor ausgehandelt werden. Die Taxonomie der Überprüfungsformen findet sich in Abbildung 7. Die Bewertung von Konflikt und Synergie erfolgt hier vereinfachend über die Schrittlänge (Anzahl der Kanten) innerhalb dieser Taxonomie.

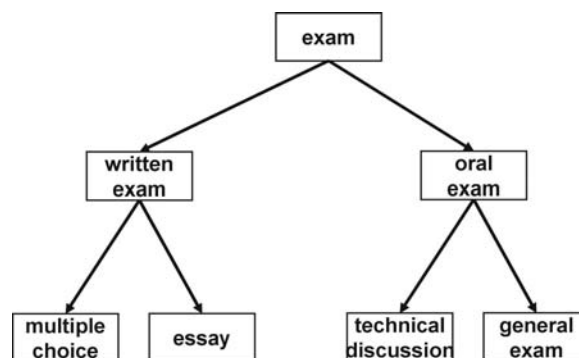


Abbildung 7: Taxonomie der Überprüfungsformen

Der Student bevorzugt in diesem Fall die Überprüfung durch einen „multiple choice“ Test, da dieser weniger aufwändig ist. Im Gegensatz zum Studenten ist es dem Assistenten wichtig, herauszufinden, ob der Student den aktuellen Inhalt der Veranstaltung verstanden hat und korrekt wiedergeben kann. Daher präferiert er die Überprüfungsform einer spezifischen mündlichen Prüfung (*technical discussion*). Der Professor in diesem Beispiel bevorzugt eine Prüfungsform, in der er überprüfen kann, ob der Student das Wissen darüber hinaus in den Kontext des Fachgebiets korrekt einordnen kann (*general exam*).

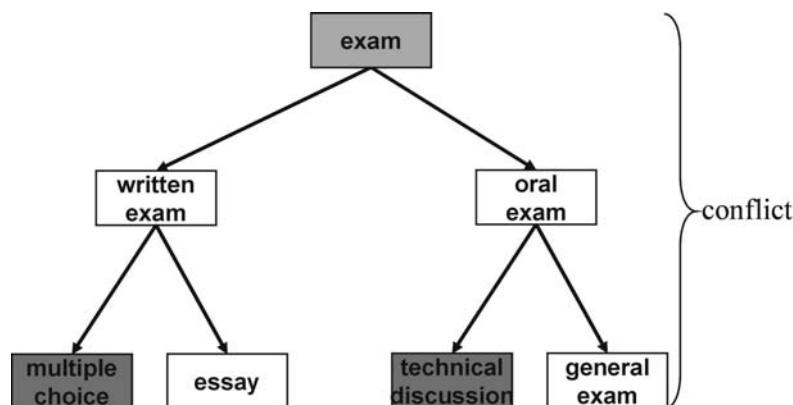


Abbildung 8: Konfliktberechnung zwischen Student und Assistent

Die Interessen zwischen Student und Assistent unterscheiden sich so stark, dass sich ein maximaler Konfliktwert (4) und minimaler Synergiewert (0) ergibt (s. Abbildung 8). Eine solche Situation würde zu einem Ausgleich im Bereich nicht vereinbarer Ziele führen. Die konkrete Konfliktklasse und -lösung ist abhängig von den konkreten Bewertungen.

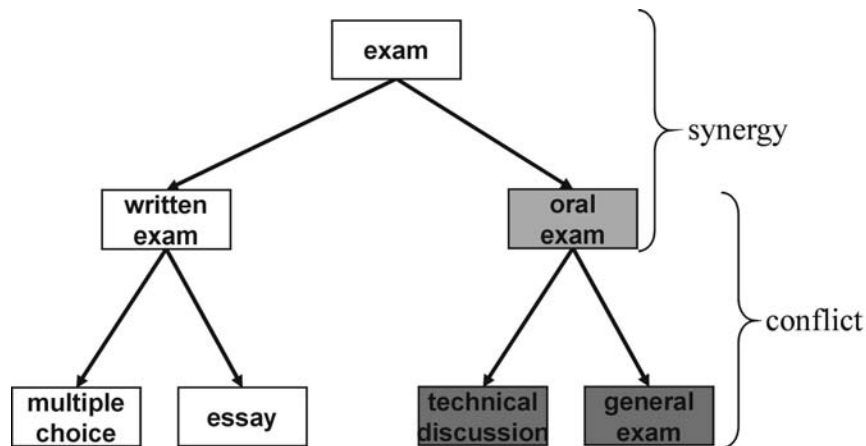


Abbildung 9: Konflikt und Synergie zwischen Student und Professor

Anders stellt sich der Interessenskonflikt zwischen Professor und Assistent dar. Hier finden wir einen moderaten Konfliktwert (2) sowie einen moderaten Synergiewert (2). Dieses würde zu einer eher vereinbaren Situation führen, deren konkrete Klassifikation und Lösung wieder abhängig von der Bewertung ist.

4. Evaluation

Das hier vorgestellte dynamische Konfliktmanagement wurde im Rahmen von einfachen Anwendungsszenarien aus der Logistik evaluiert. Hierfür wurde ein umfangreicher Prototyp entwickelt, der neben der Implementierung der Algorithmen auch eine Simulationsumgebung zur Verfügung stellt, die kontrollierte Wiederholungen von Versuchen ermöglicht und statistische Auswertungen vorbereitet. Auf Einzelheiten wird aus Platzgründen verzichtet; der Prototyp ist auf Anfrage beim Autor erhältlich. Für die Evaluation des *cobac*-Algorithmus wurde ein Szenario aus der Fertigung gewählt, vgl. (Timm *et al.*, 2001), welches im Rahmen des DFG-Projekts „IntaPS“ entwickelt wurde.

4.1 Intelligente Agenten in der Fertigung

Die Zielsetzung des Projekts „IntaPS“ (Integrierte agentenbasierte Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung) liegt in der Verbindung der Agententechnologie mit integrativen Ansätzen von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung sowie der besonderen Berücksichtigung arbeits-planerischer Tätigkeiten (Tönshoff *et al.*, 2001). Bisherige Ansätze aus der Agententechnologie fokussierten vor allem auf Scheduling-Probleme (z.B. im Rahmen der „Holonc Manufacturing Systems“) oder sehr hardwarenahe Aufgabenstellungen (z.B. Softwareagenten in Maschinensteuerungen). Die Verbindung zur fertigungstechnologieorientierten Arbeitsplanung stand dabei nicht im Mittelpunkt. Andererseits wurde bei integrativen Lösungen zwischen Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung meist von einem zentralistischen Ansatz ausgegangen (z.B. Kreuzfeldt,

1995). Die darauf basierenden Systeme können jedoch der Dynamik des fertigungstechnischen Umfeldes nur unzureichend folgen und unterstützen nicht den dortigen Trend zur Dezentralisierung (Gsell & Triemer, 2000). Insgesamt wird von dem „IntaPS“-Ansatz ein fehlertoleranteres Verhalten der Fertigung hinsichtlich auftretender Störungen, eine effizientere Umplanung technologisch anspruchsvoller Prozessfolgen sowie ein verbesserter Informationsrückfluss aus der Fertigung in die (Grob-) Arbeitsplanung erwartet. Aufträge werden in „IntaPS“ durch Auftragsagenten dargestellt, die das Ziel einer marktbasierten Optimierung verfolgen. Sie sind bestrebt, eine individuelle Zielfunktion zu optimieren, die z.B. unterschiedliche Auftragsprioritäten (als kundenneutraler Lager- oder als kundenbezogener Eilauftrag) berücksichtigt. Die Zielfunktionen werden verwendet, um unterschiedliche und eventuell konkurrierende Handlungsalternativen des Agenten im Rahmen des Konfliktmanagements gegeneinander abzuwägen und die Entscheidung für eine der möglichen Alternativen herbeizuführen.

4.2 Das Evaluationsszenario

Innerhalb des Szenarios wird die Rolle eines Ressourcenagenten simuliert, der als *Diskursagent* autonom produktionstechnische wie wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen soll. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein Ressourcenagent für eine Maschine verantwortlich ist, selbständig Aufträge aushandelt, die Belegung der Maschine plant und die Produktion plangemäß veranlasst. Er soll eine dynamische Belegungsplanung erstellen, die dafür sorgt, dass die angenommenen Aufträge zeitnah erledigt werden. Die Aufträge werden jeweils mit strenger zeitlicher Vorgabe versehen, weil sie Teilschritte in einem komplexeren Gesamtprozess (z.B. just-in-time-Fertigung) darstellen. Bei Nichteinhaltung der Zeitvorgaben drohen Konventionalstrafen. Obwohl bisher die meisten Multiagentensysteme im Bereich der Maschinenbelegung und Produktionsplanung nur partiell autonom sind (vgl. Yoo, 2002, S. 265) soll hier die Eignung eines Multiagentensystems mit autonomen Agenten untersucht werden. Das Optimierungsproblem in diesem Szenario besteht darin, die Auftragsverhandlung und Belegungsplanung so zu steuern, dass die Maschine profitabel betrieben wird. Die Belegung erfolgt diskretisiert in Timeslots, in denen jeweils ein entsprechender Auftrag ausgeführt werden kann. Parallel zur Auftragsausführung laufen neue Anfragen ein, die entsprechend verhandelt werden sollen. Es wird davon ausgegangen, dass mehrere solche Anfragen in einem Timeslot nacheinander auftreten können. Dabei ist jeweils sofort eine Entscheidung über Annahme oder Ablehnung zu treffen, da mehrere Maschinen in der Fabrik sowie in Zulieferbetrieben parallel arbeiten und die negativ beantworteten Anfragen ohne Verzug weitergereicht werden müssen. Bei dieser Art von Problemstellungen treten einander widersprechende Zielsetzungen auf. Das Ziel der optimalen Auslastung der Maschine spricht z.B. dafür, jeden Auftrag für den nächsten freien Timeslot anzunehmen, sofern damit die Zeitvorgaben der Auftraggeber noch eingehalten werden können. Das Ziel der Wahrung von Chancen auf hohe Profite spricht eher dafür, bei der Belegung Lücken für womöglich noch hereinkommende Eilaufträge zu lassen, die besonders hohe Preise erzielen. Eine andere Strategie ist die Ausnutzung von Zu- und Abgangspuffern für Rohstoffe bzw. Fertigprodukte, die ebenfalls zur schnellen Reaktion auf mögliche Eilaufträge genutzt werden können, jedoch Kapital binden. Für die Evaluation des Konfliktmanagements ist das Verhalten der Maschine in Bezug auf den wirtschaftlichen Erfolg seiner Strategien entscheidend. Eine zusammenfassende Bewertung (Saldo) rechnet jeweils die Fixkosten der Maschine, die erzielten Erlöse, die gezahlten Konventionalstrafen und die variablen Stückkosten (insbesondere Materialkosten) gegeneinander auf.

4.3 Ergebnisse der Evaluation

Das Verhalten des *cobac*-Algorithmus wurde ausführlich analysiert und evaluiert (17 Gruppen mit jeweils 100 Experimenten, insgesamt 163.200 Entscheidungszyklen). Für die Bewertung der Ergebnisse wurde ein Algorithmus implementiert, der spezifisch für das Szenario eine annähernd optimale Lösung darstellt und somit als Referenzpunkt für die weiteren Experimente gelten kann. Zusätzlich ist ein alternativer Algorithmus für die Absichtenselektion innerhalb des Agenten realisiert worden, der auf Prioritäten beruht und zum direkten Vergleich herangezogen wird. Die Experimentgruppen unterscheiden sich in der Menge vorhandener Ziele sowie in der Ausgestaltung des Vorhersageintervalls. Dieses Vorhersageintervall hat Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Zielen in konkreten Situationen.

4.3.1 *cobac* und Vergleichsalgorithmus

Der *cobac*-Algorithmus sowie der auf Prioritätenauswahl basierende Algorithmus werden jeweils mit fünf und mit sieben Zielen getestet. Bei sieben Zielen sind zwei enthalten, die integrativ sind, d.h., dass diese bereits eine Kombination der anderen Ziele darstellen. Diese Versuche werden verwendet, um das Verhalten des *cobac*-Algorithmus in unterschiedlichen Situationen und im Vergleich zu einem alternativen Ansatz zu bewerten. Hierbei hat sich gezeigt, dass der *cobac*-Algorithmus einer Absichtenselektion auf der Basis dynamischer Prioritäten überlegen ist. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse (Saldo) für die Algorithmen *cobac*, Prioritäten und Referenzpunkt mit jeweils inaktivem Vorhersageintervall aufgetragen.

Algorithmus	Anzahl Ziele	Anzahl Experimente	Mittelwert (Saldo)	Standardabweichung
<i>cobac</i>	5	100	797,90	221,08
<i>cobac</i>	7	100	847,15	174,99
Prioritäten	5	100	382,24	342,31
Prioritäten	7	100	720,17	263,69

Tabelle 1: Versuchsergebnisse (Saldo) *cobac* und Vergleichsalgorithmus

Der prioritätengesteuerte Agent weist in den unterschiedlichen Konstellationen jeweils erhebliche Streuungen in den Erfolgsparametern auf. Neben dem in Tabelle 1 dargestellten Saldo ist insbesondere die Anzahl akzeptierter aber noch nicht abgearbeiteter Aufträge ein Problem für den prioritätenbasierten Agenten dar. Dieser Auftragsbestand wird von ihm ab einer bestimmten Größe nicht mehr beherrscht. Dieser Nachteil wird naturgemäß erst bei mittlerer bzw. längerer Laufzeit relevant. Mittelfristig kann dies auch zu negativen Salden führen, da sich die Konventionalstrafen bei einer solchen Entwicklung sehr negativ auswirken. Der *Diskursagent* mit *cobac*-Algorithmus erscheint stabiler und in der Summe dem prioritätengesteuerten Agenten überlegen.

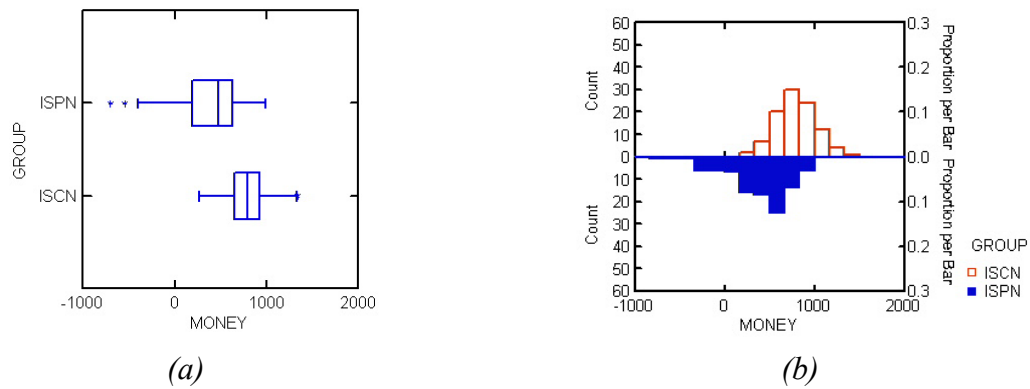


Abbildung 10: Statistischer Test (Saldo, 5 Ziele) für *cobac* und Vergleichsalgorithmus

Bei kleiner Zielmenge ist die Distanz zwischen beiden Varianten des Konfliktmanagements besonders groß. Hier erreicht *cobac* mehr als das Doppelte des Vergleichsverfahrens (vgl. Abbildung 10). Bei komplexerer Zielmenge nimmt dieser Vorsprung erwartungsgemäß ab (siehe Abbildung 11). Der deutliche Vorteil von *cobac* begründet sich mit der Möglichkeit dynamisch neue Ziele durch Kombination bestehender Ziele zu generieren. Die komplexere Zielmenge enthält aber bereits zwei solcher Konstrukte. Daher gewinnt der Vergleichsalgorithmus bei der Erweiterung der Zielmenge einen größeren Effektivitätszuwachs als der *cobac*-Algorithmus. Es bleibt jedoch bei der Überlegenheit von *cobac*.

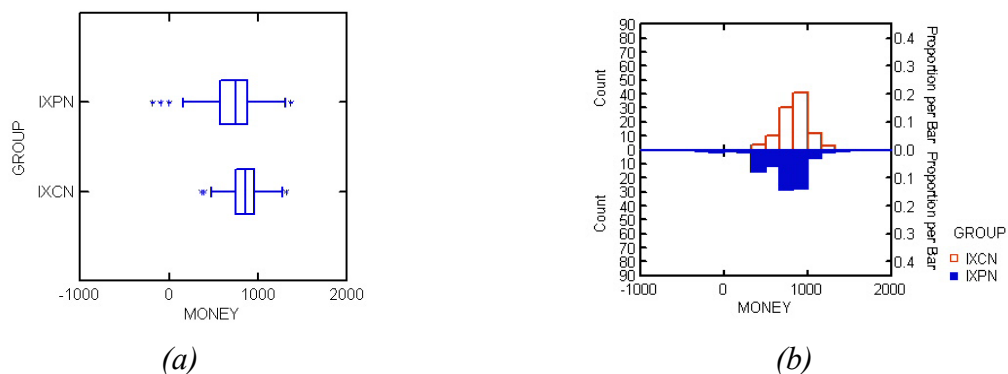


Abbildung 11: Statistischer Test (Saldo, 7 Ziele) für *cobac* und Prioritätenauswahl

Die statistische Analyse der Daten ergibt in allen direkten Vergleichen von *cobac* und Prioritätenauswahl einen hoch signifikanten ($p < 0.0001$) Unterschied zwischen *cobac* und dem Vergleichsalgorithmus bezüglich des Erfolgsparameters Saldo. Eine Ausnahmen hiervon bildet der Erfolgsparameter Wartungszustand in den Experimenten mit einfacher Zielmenge und Berechnung des vollständigen bzw. vereinfachten Vorhersageintervalls ($p = 0.1006$) und der Zukauf bei einfacher Zielmenge ohne Berechnung der temporalen Struktur ($p = 0.0133$). Alle Unterschiede weisen jedoch einen Vorteil des *cobac*-Verfahrens aus.

4.3.2 Vergleich mit dem Referenzpunkt

Es zeigt sich, dass Experimente zum Referenzpunkt bei Wiederholungen mit identischen Simulationsparametern zu Ergebnissen mit nur kleinen statistischen Fluktuationen führen. Insbesondere werden hier die Auftragslisten zügig abgearbeitet, ein optimaler mittlerer Lagerbestand gehalten, regelmäßige Wartungen durchgeführt und ein positiver Saldo

gehalten. Damit erfüllt er seine definierenden Eigenschaften, die dem spezifischen Szenario optimal entsprechen, auch unter zufällig variierten Randbedingungen. Er kann also zur Bestimmung der oberen Grenze für die Erfolgsparameter dienen. Darauf aufbauend soll der Abstand zwischen *cobac*, Vergleichsalgorithmus und dem lokalen Maximum diskutiert werden. In Tabelle 2 finden sich die prozentuellen Werte, die *cobac* bzw. das Vergleichsverfahren von diesem lokalen Optimalwert erreichen.

Anzahl Ziele	Referenzpunkt (%)	<i>cobac</i> (%)	Prioritäten (%)
5	100	74,03	35,46
7	100	78,59	66,81

Tabelle 2: Vergleich (Saldo) von *cobac* und Prioritätenauswahl mit Referenzpunkt

Hier lässt sich leicht erkennen, dass der *cobac*-Algorithmus bei der Preisgestaltung durchschnittlich über 70% des Referenzpunkts erreicht, wobei der Vergleichsalgorithmus bei der Nutzung der einfachen Zielmenge bei einem Drittel des Referenzpunkts verbleibt. Bei der Nutzung der komplexen Zielmenge erreicht der Vergleichsalgorithmus über zwei Drittel des Referenzpunkts, bleibt jedoch stets unter dem Wert von *cobac*. In allen Tests hat der *cobac*-Algorithmus damit seine Überlegenheit gegenüber dem Vergleichsalgorithmus gezeigt. Der wesentliche Vorteil des *cobac*-Algorithmus scheint in der Möglichkeit der Neu-Konstruktion von Zielen zu liegen. Der Alternativalgorithmus kann nur bei deutlicher Vergrößerung der Zielmenge ähnliche Ergebnisse erreichen.

5 Verwandte Ansätze

Konfliktvolle Situationen sind in naturwissenschaftlichen sowie sozialen, ökonomischen und psychologischen Kontexten schon lange in ihrer Doppelrolle als Blockade, aber auch als Ursache der Weiterentwicklung komplexer Systeme untersucht worden. Im Bereich der KI sind sie als Ausgangspunkt für viele Entwicklungen anzusehen. Insbesondere die Auflösung von Konflikten und das Konfliktmanagement spielen eine wichtige Rolle in Teilgebieten der KI wie Expertensystemen, Konfigurationssystemen, Planungsverfahren, Design, Wissensakquisition und -repräsentation, Verarbeitung natürlicher Sprachen, Spieltheorie, Computerunterstützte kooperative Arbeit (CSCW), Concurrent Engineering, Human-Computer-Interface (HCI) und VKI (Müller, 1996, S. 1).

Als Teilgebiet der VKI befasst sich auch die Theorie der Multiagentensysteme mit dem Thema der Konflikte. Während bei reaktiven Systemen die Koordination durch den Entwickler explizit geplant wird, kann sich die Koordination in Systemen autonomer Agenten entweder durch Kooperation oder durch nicht kooperatives Verhalten rationaler *egoistischer*, also ihren eigenen Zielen folgende, Agenten ergeben. Die Methoden des Konfliktmanagements unterscheiden sich bei diesen Ansätzen sehrgrundsätzlich voneinander. Während bei reaktiven Systemen die Konflikte durch den Entwickler berücksichtigt werden müssen und ihre Bearbeitung in der Regel vorab festgelegt wird, ist ein explizites Konfliktmanagement bei Systemen mit rationalen, *egoistischen* Agenten nicht notwendig. Das emergente Verhalten ergibt sich hier bereits aus der eigennützigen Verfolgung der jeweiligen Ziele, auch wenn sie konfliktieren. Dieser Effekt begründet gerade die Relevanz der Methode der agentenbasierten Modellierung (agent-based modeling) in den Sozialwissenschaften als dritte Basismethode neben Induktion und Deduktion (Axelrod, 1997), (Lüde *et al.*, 2003). In Tessier *et al.* (2000) sowie Müller & Dieng (2000) finden sich gute Zusammenstellungen aktueller Arbeiten zu Agenten und Konflikten. Die in diesem Beitrag untersuchten Systeme

unterscheiden sich insofern, dass die Konflikte expliziter Bestandteil der Systemanforderungen sind und die Agenten in der Lage sein sollen, eben solche Zielkonflikte aufzulösen, die sich durch widersprechende Ziele oder aus möglichen Widersprüchen mit Zielen der Agentenumgebung ergeben.

Während die Existenz externer Konflikte in Multiagentensystemen relativ breit akzeptiert wird, bereiten interne Konflikte besondere Schwierigkeiten. Eine schlichte Inkorporation widersprüchlicher Absichten führt bei den meisten formalen Beschreibungen zu logischen Problemen (Kwong *et al.*, 1998, S. 9). Aus diesem Grunde sieht das ursprüngliche BDI-Konzept auch nur konsistente aktuelle Zielmengen vor (Wooldridge, 1999, S. 59). Allerdings ist auch hier nicht ausgeschlossen, dass die Menge aller eventuell zu aktivierenden Ziele inkonsistent ist. Castelfranchi & Falcone (2000) weisen dabei auf die Bedeutung von Zielkonflikten hin. Eine Erweiterung solcher Ansätze durch die explizite Aufnahme von internen Konflikten und ein entsprechendes Konfliktmanagement erscheint sinnvoll. Allerdings sind dann die logischen Fundamente sehr sorgfältig zu konstruieren, damit die oben angesprochenen Probleme vermieden werden; die klassische Logik reicht nicht aus, so dass temporale und modale Elemente zu inkorporieren sind. Allerdings wurden diese Logiken beim Entwurf von Agenten oft noch zu wenig berücksichtigt (Garagnani *et al.*, 1998, S. 55).

Wie in der Einleitung zu diesem Abschnitt dargestellt, finden sich in ganz unterschiedlichen Wissenschaften Ansätze zur Theorie der Konflikte und der Konfliktbehandlung. Für das Design von Multiagentensystemen mit kooperativen autonomen Agenten bietet es sich an, die Ergebnisse der Sozialpsychologie heranzuziehen (interpersonale Konfliktforschung), die ein sehr umfangreiches Material an Forschungsergebnissen zu diesem Thema bereitstellt. Es reicht von theoretischen Begründungen (Vliert, 1997) bis zu empirischen Ergebnissen, vgl. (Rahim & Magner, 1995), (Shockley-Zalabak, 1988).

In dieser Arbeit wurde insbesondere die von van de Vliert (1997, S. 30ff.) verfeinerte Typologie verwendet und ein Algorithmus zur Quantifizierung der Situationen und der Lösungen entwickelt, der für den Einsatz in Multiagentensystemen geeignet erscheint (vgl. Abschnitt 3.2). Diese Typologie verwendet fünf Grundtypen des Umgangs mit Konflikten: Vermeidung (avoiding), Akzeptanz (Einigung auf das Ziel des Partners, accomodation), Kompromissbildung (compromising), Problemlösung (problem solving) und Auseinandersetzung (fighting). Im Rahmen von Organisationen haben Kieser & Kubicek (1992, S. 396f.) eine Klassifikation eingeführt, welche Ähnlichkeiten zu dieser Typologie aufweist. Es werden in der Klassifikation von Kieser & Kubicek allerdings nur vier Klassen eingeführt. Wegen der Bedeutung der Organisationstheorie für die Gestaltung von Agenten- und Multiagentensystemen mit betriebswirtschaftlichem Aufgabenspektrum wird auf diese Analogie bei der Beschreibung der interpersonalen Konflikttypologie nach van de Vliert jeweils konkret eingegangen.

Konfliktvermeidung (avoiding)

Hier wird die Auseinandersetzung ausgesetzt oder terminiert, ohne dass es zu einer Einigung auf eines der konfligierenden Ziele kommt. Meist ist diese Strategie mit einem Ausweichen auf eine andere Ebene verbunden (vgl. Borishoff & Victor, 1989). Im ökonomischen Zusammenhang wird oft der Abbruch der Verhandlung und die Aufnahme der Verhandlung mit einem anderen Kunden oder Verkäufer als entsprechende Strategie gewählt (Fisher & Ury, 1981). Dieses wird bei Kieser & Kubicek als Rückzug und Isolation beschrieben.

Akzeptanz (accomodation)

Das Einverständnis unter Aufgabe der eigenen Position beschreibt eine offene Kooperation ohne Konfrontation. Sozialpsychologisch kann dieses Verhalten sehr unterschiedliche Ursachen haben, wie Altruismus, Kostenvermeidung oder normativer Hintergrund.

Kompromissbildung (compromising)

Die Kompromissbildung verlangt von beiden Partnern die Aufgabe von (Teil-) Zielen. Kompromissbildungen werden von Kieser & Kubicek als dritte Kategorie der Konfliktbehandlung aufgeführt und als das Teilen des Streitwerts beschrieben.

Problemlösung (problem solving)

Neue und eventuell überraschende Problemlösungen, zu entwickeln ist die kreativste Art der Konfliktbehandlung in der Typologie nach van de Vliert. Zugleich stellt diese Strategie besondere Anforderungen an die Intelligenz der Partner sowie die Kommunikation zwischen ihnen. Kieser & Kubicek (1992, S. 397) beschreiben das Problemlösungsverhalten innerhalb von Organisationen wie folgt:

„Die Abteilungen analysieren die anstehenden Koordinationsprobleme gemeinsam im Hinblick auf den jeweiligen Abteilungszielen übergeordnete Ziele und erarbeiten auf der Basis dieser Analyse ein gemeinsames Vorgehen.“ (Kieser & Kubicek, 1992, S. 397)

Zum Problemlösen gibt es umfangreiche Literatur in der Psychologie, Philosophie und Logik. Viele Aspekte werden in der Monographie von Burton (1990) behandelt.

Auseinandersetzung (fighting)

Die „Inszenierung eines Konflikts als Gewinner-Verlierer-Spiel“ (Kieser & Kubicek, 1992, S. 396) ist die fünfte Möglichkeit der Bearbeitung konfligierender Ziele. In den Sozialwissenschaften unterscheidet man direkte und indirekte Auseinandersetzungen. Bei indirekten Auseinandersetzungen findet kein offener Kampf statt, aber beide Seiten versuchen ihre (strategischen) Positionen zu verbessern. Bildung von Allianzen mit Dritten, Schwächung der gegnerischen Positionen und Ziele sind typische Ausprägungen. Bei der direkten Auseinandersetzung wird die definitive Entscheidung zwischen den beiden Alternativen gesucht. Hier ist also die „win-lose“ - Situation vollständig realisiert. Volkema & Bergmann (1989) haben solche Auseinandersetzungen zwischen Arbeitnehmern empirisch untersucht.

6. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wird eine Architektur für Agenten, die so genannten *Diskursagenten*, eingeführt, die ein dynamisches Konfliktmanagement zur intelligenten Verhaltenssteuerung implementiert. Diese Verhaltenssteuerung fokussiert auf die explizite Betrachtung von Zielkonflikten innerhalb eines Agenten (internes Konfliktmanagement) und die dynamische Adaption an unbekannte Umgebungen. Die hierfür entwickelte Logik stellt im Besonderen Konzepte zur Repräsentation, Identifikation und Verarbeitung aber auch zur quantitativen Bewertung von Konflikten zur Verfügung, welche für konkrete Anwendungen spezifiziert werden könnten, dass alternative Konfliktlösungsansätze sowie unterschiedliche Domänen berücksichtigt werden. Eine konkrete Spezifikation des *cobac*-Ansatzes wurde für die fertigungslogistische Ressourcenverwaltung mit Hilfe der interpersonalen Konfliktforschung über ein Konfliktresolutionsschema durchgeführt und prototypisch implementiert. Die Experimente konnten einen deutlichen Vorteil dieses Ansatzes gegenüber einem klassischen Ansatz basierend auf Prioritätenauswahl aufzeigen, der statistisch in umfassenden Experimenten nachgewiesen wurde.

Im Rahmen dieses Buches werden Aspekte der „Agentengesellschaften außer Kontrolle“ diskutiert. Hierbei stellt die Erweiterung des autonomen Verhaltens der Agenten auf die explizite Berücksichtigung von Ziel- und Interessenskonflikten einen ersten Schritt dar, um dieser neuen Entwicklung zu begegnen. Das hier vorgestellte Konfliktmanagement ermöglicht

eine dynamische Auflösung der Konflikte durch Generierung neuer Ziele, die sich aus der aktuellen Situation heraus ergeben. Die Anlehnung des Algorithmus an interpersonales Konfliktmanagement führt zu einer höheren Transparenz bei der Auswahl von Zielen und Absichten gegenüber dem Anwender. Ansätze wie dieser werden in Gesellschaften von Agenten eine große Rolle spielen, um neben einer autonomen Verarbeitung auch Transparenz zu gewährleisten.

Eine Erweiterung des Autonomiebegriffs sowie der Dienstbeschreibungen in Multiagentensystemen ist notwendig, um der steigenden Heterogenität und Dynamik zu begegnen, die durch flexible ad hoc Netzwerke und Agentengesellschaften entstehen. Im Weiteren benötigen die Agenten eine Art Selbstreflexion über ihre Fähigkeiten zur Problemlösung, damit sie in der Lage sind, sich neuen Anforderungen in sich ändernden Kontexten anzupassen. Die Annahme, die auch dem *cobac*-Algorithmus zugrunde liegt, ist, dass der Agent seine Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten (capabilities) kennt. In kooperativen Systemen bedarf es beim Agenten der Möglichkeit, Gelegenheiten zu erkennen, um entsprechend darauf reagieren zu können. Die durch den Benutzer festgelegten möglicherweise fest verdrahteten Abbildungen zwischen Fertigkeiten und Problemen kann von dem Agenten nicht dynamisch beeinflusst werden. Im Sinne eines erweiterten Autonomiebegriffs, der die Selbstreflexion über die eigenen Möglichkeiten einschließt, sind damit die Freiheitsgrade von Gelegenheit und Wahl (Choice & Chance) eingeschränkt, so dass der Agent tatsächlich nicht vollständig autonom ist.

Deshalb haben wir den Ansatz von *cobac** als Erweiterung für die Verwaltung von Fertigkeiten (capability management) vorgeschlagen, indem analog zum internen Konfliktmanagement differierende Angebote und Nachfragen abgeglichen werden (Timm & Woelk, 2003). Der *cobac**-Ansatz kann hierbei jedoch nur als erster Schritt gelten. Vielmehr ist es notwendig, neue Ansätze zu entwickeln und zu untersuchen, die es dem Agenten ermöglichen auf Basis expliziter Fertigkeitsspezifikation für ein angefragtes Problem dynamisch zu entscheiden, ob der Agent zu einer Lösung beitragen kann. Dieses schließt die emergente Konstruktion von Fertigkeiten ein, die auf Basis der Grundfertigkeiten des Agenten die Problemlösung erreichen. Die Problemlösung muss hierbei nicht exakt sein; vielmehr sollte es möglich sein, dass der Agent auch eine ungefähre Problemlösung anbieten kann. Wird z.B. ein *gestanztes rundes Loch* in einem Fertigungsumfeld angefragt, so kann auch ein mit *Gewinde geschnittenes rundes Loch* eine Problemlösung sein.

Bei einer so erweiterten Definition von Autonomie und den dargestellten Fähigkeiten der Selbstreflexion fehlt noch die Seite des Verhandlungspartners, der auf der Basis einer Anfrage ein Angebot von möglicherweise dynamisch gebildeten Fertigkeiten bewerten muss. Dieser muss nämlich auf Basis von ungefähren oder partiellen Lösungen in der Lage sein, zu entscheiden, ob diese Lösung für sein Problem ausreichend ist. Diese Erweiterung der Dienstbeschreibungen in Multiagentensystemen ist unserer Ansicht nach notwendig, um der steigenden Heterogenität und Dynamik durch flexible ad hoc Netzwerke zu begegnen und wird von uns unter dem Begriff Capability Management diskutiert.

Ein zweiter wichtiger Aspekt ist neben der Autonomie die dynamische Koordination. Innerhalb der *Diskursagenten* wurde der *oac*-Ansatz entwickelt, der die Kommunikationsstruktur zwischen Agenten analysiert und adaptiert, so dass eine effektive Verhandlung in dynamischen Umgebungen unterstützt wird (Timm, 2004). Aufbauend auf der offenen adaptiven Kommunikation in Agentensystemen ist gerade die Integration des Managements von Fertigkeiten in Analogie zum agenteninternen Fall notwendig. So soll eine dynamische Generierung von Lösungsmöglichkeiten für Probleme in Abhängigkeit von den Fertigkeiten einzelner zu Verfügung stehender Agenten erreicht werden. Ein wesentlicher Aspekt bei zukünftigen Erweiterungen solcher adaptiver Kommunikationsstrukturen ist die

Unterstützung von Gruppen- und Teambildung. Hierbei steht die Realisierung von emergenten Fertigkeiten als Kombination individueller Fertigkeiten von Gruppen- bzw. Teammitgliedern. Werden hierbei die Agentengesellschaften auch in ihrer hybriden Form untersucht, d.h., dass einzelne Agenten direkt von menschlichen Nutzern gesteuert werden, so ergibt sich die Fragestellung, in wieweit die Fertigkeiten des menschlichen Nutzers in solche Verhandlungen mit einbezogen werden können.

Für die Lösung von Problemen in hoch dynamischen Netzwerken entsteht das Problem, dass an der Problemlösung partizipierende Agenten den Einzugsbereich verlassen, bevor das Problem gelöst wird. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, mediatorische Funktionalitäten zu implementieren, die eine konsistente Problemlösung sicherstellen. Dieses kann z.B. bedeuten, dass eine mediatorische Funktionalität nach einem Agenten mit bestimmten Fertigkeiten *sucht* und diesen zur Problemlösung *einlädt*. Solche Konzepte weisen einen wesentlichen Forschungsbedarf auf, um in hoch dynamischen Agentengesellschaften ein kontrolliertes Verhalten zu ermöglichen.

Literatur

- Axelrod, R. M., 1997: *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Borishoff, D. /Victor, D.A., 1989: *Conflict Management: A Communication Skill Approach*. Engelwood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Burton, J. W., 1990: *Conflict: Resolution and Prevention*. New York, USA: St. Martin's Press.
- Cabri, G. /Ferrari, L. /Leonardi, L., 2003: *BRAIN: A Framework for Flexible Role-based Interactions in Multiagent Systems*. In: (D'Inverno *et al.*, 2003)
- Castelfranchi, C. / Conte, R. / Cesta, A., 1992: *The Organization as a Structure of Negotiated and Non Negotiated Binds*. In: *Human Computer Interaction: Tasks and Organization. Proceedings of the 6th European Conference on Cognitive Ergonomics*. Balaton, Hungary.
- Castelfranchi, F. /Falcone, R., 2000: *Conflicts Within and For Collaboration*. In: (Tessier *et al.*, 2000), S. 33–61.
- D'Inverno, M. /Sierra, C. /Zambonelli, F. (Eds.), 2003: *Proceedings of the First European Workshop on Multi- Agent Systems (EUMAS 2003)*, December, 18-19, St. Catherine's College Oxford University, UK.
- Ferber, J., 1999: *Multi-Agent Systems - An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Harlow, UK: Addison-Wesley.
- Fisher, R. / Ury, W., 1981: *Getting to Yes: Negotiating Agreement Without Giving In*. London: Hutchinson.
- Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), 1996: *Software Standards for Heterogeneous and Interacting Agents and Agent-based Systems*. <http://www.fipa.org>, Abrufdatum: 10.2.2004.
- Garagnani, M. / Fox, M. / Long, D. P., 1998: *Beliefs Systems for Conflicts Resolution*. In: (Tessier & Chaudron, 1998), S. 9–14.
- Gsell, H. / Triemer, S., 2000: *Abschusskandidat Arbeitsvorbereitung*. In: *Industrielle Informationstechnik (it)*, Nr.9 (2000), S. 64-67.
- Heinen, E., 1993: *Industriebetriebslehre*. 9. Auflage. Wiesbaden: Gabler-Verlag.
- Kalenka, S. / Jennings, N. R., 1997: *Socially Responsible Decision Making by Autonomous Agents*. In: Korta, K. / Sosa, E. / Arrazola, X. (Eds.): *Cognition, Agency and Rationality*. Boston, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, S. 135–149
- Kieser, A. / Kubicek, H., 1992: *Organisation*. 3. Auflage. Berlin: Walter de Gruyter.
- Kreutzfeldt, J., 1995: *Planen mit Bearbeitungsalternativen in der Teilefertigung*. Dissertation Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16, Nr. 80, Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kubicek, H., 1979: *Interessensberücksichtigung beim Technikeinsatz im Büro- und Verwaltungsbereich, Grundgedanken und neue skandinavische Entwicklungen*. München.

- Kwong, B. N. H. / Wong, K.-F. / Low, B.-T., 1998: A Logical Framework for Reasoning over Attacking Conflicts in Multi-Agent Systems. In: (Tessier & Chaudron, 1998), S. 9–14
- Lee, H. / Mihailescu, P. / Shepherdson, J., 2003: A Conversational Component-Based Open Multi-agent Architecture for Flexible Information Trading. In: Klusch, M. / Omicini, A. / Ossowski, S. / Laamanen, H. (Eds.): Cooperative Information Agents VII. Berlin: Springer, S. 109–116.
- Lüde, R.v. / Moldt, D. / Valk, R., 2003: Sozionik: Modellierung soziologischer Theorie (Wirtschaft - Arbeit - Technik. Bd. 2). Münster: Lit Verlag.
- Müller, H. J., 1996: Negotiation Principles. In: O'Hare, G.M.P. / Jennings, N. R. (eds): Foundations of Distributed Artificial Intelligence, New York: John Wiley & Sons.
- Müller, H.-J. / Dieng, R. (Eds.), 2000: Computational Conflicts. Conflict Modeling for Distributed Intelligent Systems. Berlin: Springer.
- Musliner, D. / Pell, B. (Eds.), 1999: Agents with Adjustable Autonomy. AAAI Spring Symposium. Technical Report SS-99-06. San Francisco, California: The AAAI Press.
- Pechoucek, M., 2003: Role of Subscription-based Contraction in Agent-based Production Planning. In: (D'Inverno *et al.*, 2003).
- Rahim, M. A. / Magner, R. A., 1995: Confirmatory Factor Analysis of the Styles of Handling Interpersonal Conflict: First-Order Factor Model and its Invariance Across Groups. In: Journal of Applied Psychology 80 (1995), S. 122–132.
- Rao, A. S. / Georgeff, M. P., 1995: BDI-Agents: From Theory to Practice. In: Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems. San Francisco, California: AAAI-Press, S. 312–319.
- Russel, S. / Norvig, P., 2003: Artificial Intelligence – A Modern Approach. Second Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Shockley-Zalabak, P., 1998: Assessing the Hall Conflict Management Survey. In: Management Communication Quarterly 1, S. 302–320.
- Tecuci, G., 1998: Building Intelligent Agents - An Apprenticeship Multistrategy Learning Theory, Methodology, Tool and Case Studies. San Diego, California, USA: Academic Press.
- Tessier, C. / Chaudron, L. / Müller, H.-J. (Eds.), 2000: Conflicting Agents: Conflict Management in Multi-Agent Systems. Boston, Massachusetts: Kluwer.
- Tessier, C. / Chaudron, L., 1998: Proceedings of the ECAI'98 Workshop (W16) on Conflicts Among Agents: Avoid or Use Them. Brighton, UK.
- Timm, I. J. / Woelk, P.-O. / Knirsch, P. / Tönshoff, J. K. / Herzog, O., 2001: Flexible Mass Customisation: Managing its Information Logistics Using Adaptive Co-operative Multiagent Systems. In: Pawar, K. S. / Muffatto, M. (Eds): Logistics and the Digital Economy. Proceedings of the 6th International Symposium on Logistics. Salzburg, Austria, July 2001, S. 227–232.
- Timm, I. J. / Woelk, P.-O., 2003: Ontology-based Capability Management for Distributed Problem Solving in the Manufacturing Domain. In: Schillo, M. / Klusch, M. / Müller, J. / Tianfield, H. (Eds.): Multiagent System Technologies - Proceedings of the First German Conference, MATES. Berlin: Springer, S. 168–179.

- Timm, I. J., 2003: Dynamisches Konfliktmanagement als Verhaltenssteuerung Intelligenter Agenten. Dissertation. Universität Bremen, Fachbereich Mathematik & Informatik, Bremen.
- Timm, I. J., 2004: Selbstlernprozesse in der Agentenkommunikation, In: Hillebrandt, F. / Florian, M.: Adaption und Lernen in und von Organisationen, Westdeutscher Verlag.
- Tönshoff, H.-K. / Woelk, P.-O. / Timm, I.J. / Herzog, O., 2001: Flexible Process Planning and Production Control Using Co-Operative Agent Systems. In: Proc. International Conference on Competitive Manufacturing (COMA '01), Stellenbosch, South Africa.
- Vliert, E. v. d., 1997: Complex Interpersonal Conflict Behaviour - Theoretical Frontiers. East Sussex, UK: Psychology Press.
- Volkema, R. J. / Bergmann, T. J., 1989: Interpersonal Conflict at Work: An Analysis of Behavioral Responses. In: Human Relations 42 (1989), S. 757–770.
- Weiß, G. (Edt.), 1999: Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Wiendahl, H.-P. / Mittendorf, M., 2000: Anmerkungen zum Gegenstand des Wörterbuchs In: Wörterbuch der PPS: Deutsch- Englisch, Englisch-Deutsch. Berlin: Springer-Verlag, S. 1–8.
- Wooldridge, M. / Jennings, N. R., 1995: Intelligent Agents: Theory and Practice. In: The Knowledge Engineering Review 10 (1995), Nr. 2, S. 115–152.
- Wooldridge, M., 1999: Intelligent Agents. In: (Weiss, 1999) S. 27–78.
- World Wide Web Consortium (W3C), 2002: Extensible Markup Language (XML). <http://www.w3c.org/XML>. Abrufdatum: 30. August 2002.
- Yoo, M.-J., 2002: An Industrial Application of Agents for Dynamic Replanning. In: Castelfranchi, C. / Johnson, W. L. (Eds.): Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems (AAMAS 2002) - Part 1, Bologna, Italy: ACM Press, S. 264–271.