

Multi-Agentensysteme zur Unterstützung ökologischer Transportlogistik

Ingo J. Timm¹

Abstract / Zusammenfassung

This paper proposes the concept of a multi-agent system modeling an alliance within the transportation domain trying to reduce environmental pollution. Agents are representing the companies associated within the alliance trying to overcome conflicts of interests between global alliance goals (e.g. ecological aims) and individual company goals (e.g. economical aims).

The focus lays on conflict management in two levels, conflicts within negotiation between agents and conflicts in the planning process within individual agents.

In diesem Papier wird das Konzept eines Multi-Agentensystems zur informationstechnischen Unterstützung einer Allianz in der Transportdomäne vorgestellt, die sich um eine ökologisch sinnvolle Gestaltung ihrer Transporte bemüht. Hierbei müssen die beteiligten Agenten Interessenskonflikte zwischen den globalen Zielen der Allianz (z.B. Umweltschutz) und ihren individuellen Zielen (z.B. Gewinnmaximierung) lösen.

Der Schwerpunkt liegt auf dem Konfliktmanagement in zwei Ebenen, Konfliktmanagement bei der Planung innerhalb eines Agenten und Konfliktmanagement bei Verhandlungen zwischen Agenten.

1 Einleitung

Die überbetriebliche Logistik im Rahmen der verteilten Produktion gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. In diesem Rahmen nimmt besonders das bisherige Transportaufkommen durch den ständig steigenden Einsatz von Logistikmethoden wie *Just-In-Time Produktion* und neuen Unternehmensstrategien wie *Outsourcing* aber auch durch neue Gesetzgebungen wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz erheblich zu und stellt nicht nur einen erheblichen Kostenblock innerhalb der Produktion dar, sondern führt auch zu einer Überlastung des Verkehrsnetzes und einer erheblichen

¹ Universität Bremen, Fachbereich Mathematik und Informatik, Technologie-Zentrum Informatik, Postfach 330 440, D-28334 Bremen, e-mail: i.timm@tzi.uni-bremen.de
Forschungsvorhaben im Rahmen des Forschungsverbunds Logistik der Universität Bremen

Schädigung der Umwelt (Eckstein, 1994). So ist allein von 1980 bis 1992 eine Zunahme des Transportaufkommens um 75% zu verzeichnen (Radke, 1994).

In diesem Rahmen werden neue Ansätze zur Reduzierung des Transportaufkommens, der effektiveren Nutzung von Lade- und Frachträumen, sowie zur optimierten Routenplanung entwickelt (Aichle et al., 1994), (Roescher, 1993), (Paschos, 1997). Diese basieren meist auf einer idealisierten Sicht des Marktes, in der Transportmittel beliebig planbar sind, Güter günstige Quaderformen besitzen oder Distributions- und Redistributionswege durch das *Business Process Reengineering* beliebig veränderbar sind. Auf dieser Basis beschäftigen sich einige Ansätze mit Multi-Agentensystemen, in denen gerade diese Ressourcenbeschränkungen flexibler gehandhabt werden (Falk, 1995), (Fischer, 1993).

Bei der idealisierten Betrachtung der Probleme ist es im allgemeinen nicht üblich, den Faktor Umwelt explizit in die Optimierung einzubeziehen. Es wird davon ausgegangen, daß Umweltschutz über ökonomische Optimierung erfolgen kann, da z.B. die Reduzierung von Tonnenkilometern bei der Routenplanung (Fischer et al., 1995) auch zu einer indirekten Reduzierung umweltschädlicher Auswirkungen führt. Jedoch wird nicht die Verkehrsmittelart und deren Auswirkungen auf die Umwelt differenziert betrachtet, sondern jedes Verkehrsmittel über seinen Preis berücksichtigt.

1.1 Szenario

Im folgenden wird das Szenario näher erläutert, das durch das Multi-Agentensystem modelliert werden soll.

Innerhalb dieses Szenarios bilden Spediteure und Produzenten eine Allianz mit dem Ziel die Umweltschädigung durch ihre Gütertransporte zu reduzieren.

Die Integration des ökologischen Aspekts scheint auf den ersten Blick dem Prinzip der freien Marktwirtschaft zu widersprechen, kann aber als Präventionsmaßnahme erfolgen. Immerhin ist der Gesetzgeber angesichts der erheblichen Schädigung der Umwelt durch Güterverkehr gezwungen, hier in absehbarer Zeit z.B. durch Öko-Steuern einzugreifen. Solche Zwangsmaßnahmen in Form von Steuern und Gesetzen sind ein ernst zunehmendes Risiko für die Entscheidungsautonomie der Unternehmen. Im weiteren kann ein aktiv betriebener Umweltschutz zu einer Zertifizierung einzelner Transportunternehmen aber auch Produzenten führen. Dieses Zertifikat kann sich durch gesellschaftliche Akzeptanz in Bezug auf Umweltschutz zu einem erheblichen Wettbewerbsfaktor etablieren. Außerdem wird von der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre schon seit Beginn der sechziger Jahre davon ausgegangen, daß Unternehmen nicht nur das Ziel der Gewinnmaximierung, sondern auch andere Zielsetzungen verfolgen (Dinkelbach, 1962) (Gutenberg, 1966).

Der hier diskutierte Gütertransport umfaßt sowohl die Transporte vom Zulieferunternehmen zum Produzenten, vom Produzenten zum Distributor als auch vom Distributor zum Produzenten oder zur Recyclingbörse. Bei den Transporten werden verschiedenste Verkehrsmittel wie Schiffe, Lkws oder Eisenbahnen eingesetzt, die sehr unterschiedliche Eigenschaften in bezug auf Umweltbelastungen aber auch in Bezug auf Nutzungsfaktoren, wie Zuladungsparameter, Einsatzmöglichkeiten, Restriktionen der Transportwege und ihre Verfügbarkeit haben.

Im folgenden wird ein Konzept für ein Multi-Agentensystem vorgestellt, das die hier angeführten besonderen Anforderungen einer ökologischen Transportlogistik unterstützt.

2 Verwendete Technologie

Die Lösung der Optimierungsaufgabe innerhalb dieses komplexen Szenarios findet sich in der Modellierung eines virtuellen Transportmarktes. Hier werden die Güter unter den verschiedenen Akteuren gehandelt, wobei jeweils die Kundenakteure Umfang, Ausgangs- und Bestimmungsorte ihrer Güter kennen, und Verhandlungen über feste Zulieferverträge oder Verkäufe außerhalb dieses Marktes geführt werden. Im weiteren planen die Akteure ihre Verkehrsmittel gemäß den ökologischen und ökonomischen Zielsetzungen und können auf aktuelle Situationen wie Staus oder defekte Transportmittel angemessen reagieren.

Das Konzept eines Multi-Agentensystems stellt den Kern dieses Lösungsansatzes dar, in dem die Agenten jeweils im Auftrag eines Unternehmen agieren (s. Abbildung 1). Hierbei besteht das Optimierungsziel des Multi-Agentensystems in der Reduzierung umweltschädlicher Auswirkungen der Transporte bei gleichzeitiger Realisierung der einzelnen ökonomischen Unternehmensziele.

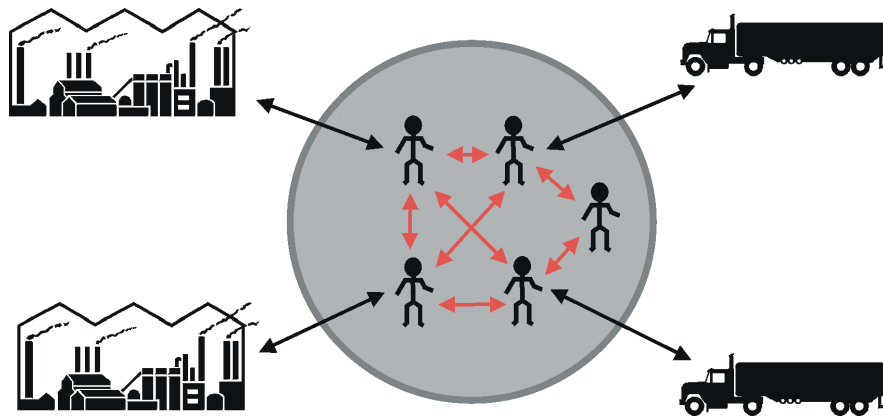


Abbildung 1: Szenario eines Multi-Agentensystems

Dabei stellen sich drei grundsätzliche Schwierigkeiten ein. Zum einen müssen die Agenten sowohl Konflikte in Verhandlungen bewältigen, als auch Ziel- oder Interessenkonflikte bei der individuellen Planung berücksichtigen. Diese Konfliktsituationen wirken sich direkt auf die Planungsebenen aus. Hier sind Planungsalgorithmen auf den Ebenen der Lager- und Frachtraumoptimierung und der intermodalen Transportkettenplanung zu entwickeln. Der Schwerpunkt dieser Algorithmen liegt auf dem zeitlichen Aspekt, der fordert, daß zu möglichst jedem Zeitpunkt eine Lösung verfügbar sein muß.

2.1 Multi-Agentensystem Ansatz

Innerhalb der Informatik etabliert sich zunehmend der Trend, komplexe Probleme mit Hilfe von Agenten zu lösen (Müller, 1993). In Anlehnung an (Wooldridge und Jennings, 1995) beschränken sich die hier diskutierten *Agenten* auf Softwaresysteme, die

- selbständig sind und nicht direkt von außen gesteuert werden (autonom),
- sich in einer Gesellschaft mit anderen Agenten befinden und mit ihnen kommunizieren und kooperieren können (sozial),
- auf ihre Umwelt einwirken und diese verändern können (reaktiv) und
- nicht nur auf Veränderungen der Umwelt reagieren, sondern auch fähig sind, aktiv eigene Ziele zu verfolgen (pro-aktiv).

Das Ziel eines Multi-Agentensystems ist es, durch verteilte Problemlösung zwischen den einzelnen Agenten einen Emergenzeffekt zu erreichen, der zu einer möglichst guten Lösung des Gesamtproblems führt.

Ranze und Müller motivieren drei notwendige Kriterien, die ein Problembereich aufweisen sollte, damit der Einsatz von Multi-Agentensystemen adäquat ist (Ranze und Müller, 1997). Diese sind durch

- natürliche Verteiltheit,
- dynamische Welt und
- komplexe Interaktion gegeben.

Die Domäne der Transportlogistik ist extrem durch geographische (natürliche) Verteiltheit gekennzeichnet. Die beteiligten Unternehmen können sowohl innerhalb eines Landes, als auch weltweit verteilt angesiedelt sein. Im weiteren sind die Handlungsträger autonom und nur durch einen relationalen Vertrag (Allianz) aneinander gebunden. Hier muß die Entscheidungsfreiheit der einzelnen Unternehmen angemessen berücksichtigt werden (Natürliche Verteiltheit).

Das Kriterium der Dynamischen Welt ist allein schon dadurch erfüllt, daß die Agenten Repräsentanten der beteiligten Unternehmen darstellen und somit die Zusammenstellung des Multi-Agentensystems von der aktuellen Konstellation der

Allianz abhängt. Auch soll das System auf neue Rahmenbedingungen wie Gesetzgebungen oder neue Verkehrsmittel reagieren können.

Die Ziele der Allianz, eine Reduzierung der umweltschädlichen Auswirkungen, kann nur erreicht werden, wenn die einzelnen Akteure in starkem Maße miteinander kooperieren und sich gegenseitig über zu erwartenden Leerfahrten u.ä. informieren. Dieses zu kommunizieren erfordert eine komplexe Interaktion, womit auch das letzte zwingende Kriterium für den Einsatz von Multi-Agentensystemen in diesem Szenario erfüllt ist.

2.2 Agentenarchitektur

Die Agenten innerhalb des Szenarios weisen einen grundsätzlich ähnlichen Aufbau auf. Als Architektur für die Softwareagenten wird die MEKKA-Architektur (Lux, 1995) zugrunde gelegt, die Agenten in die drei wesentliche Komponenten Kommunikation, Kooperation und Operationen untergliedert (s. Abbildung 2).

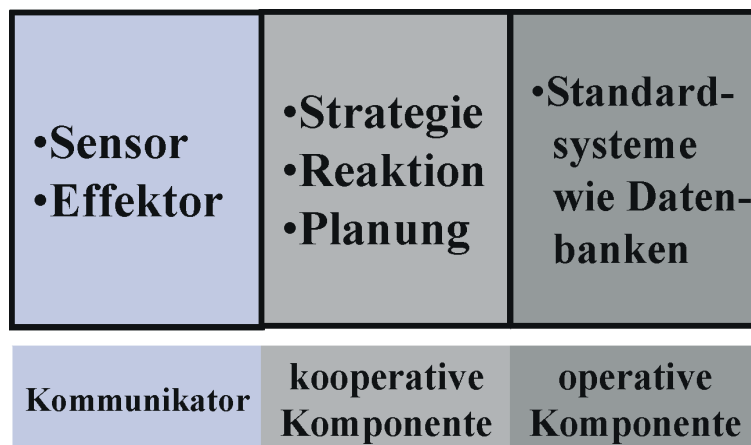


Abbildung 2: MEKKA-Architektur

Die einzelnen Komponenten sollen im folgenden in Hinblick auf ihre Zusammensetzung und Funktionalität näher erläutert werden. Da die operative Komponente eher die Basisfunktionalität wie betriebliche Informationssysteme beinhaltet, wird sie hier nicht näher beschrieben.

2.2.1 Kommunikator

Der Kommunikator stellt mit Sensoren und Effektoren die Verbindung des Agenten zum Multi-Agentensystem dar. In dieser Komponente befinden sich die elementaren Kommunikationsprotokolle wie Netzwerkprotokolle etc., die es ermöglichen, daß

eine Kommunikation mittels eines komplexen Protokolls zwischen Agenten stattfindet. Hier befinden sich insbesondere auch Adressen der übrigen Agenten.

2.2.2 Kooperative Komponente

Innerhalb der kooperativen Komponente ist das Kommunikationsprotokoll definiert, das für die Verhandlungen zwischen den Agenten eingesetzt wird. Die Verhandlungen erfolgen hier auf Basis marktwirtschaftlicher Prinzipien. Die Intention bei markt-basierten Kommunikationsprotokollen ist, daß sich durch individuelle Gewinnmaximierung bei vorgegebener Kosten-Nutzen-Funktionen ein Emergenzeffekt entsteht, durch den sich das Multi-Agentensystem über Angebot und Nachfrage optimiert. Bisherige Ansätze verwenden für die Berechnung der Kosten eindeutig quantifizierbare Faktoren wie benötigte Prozessorzeit (Gibney, 1997). Der hier vorgestellte Ansatz unterscheidet sich insofern von diesen Ansätzen, daß zusätzlich zu absolut bestimmbar GröÙen wie den Transportkosten auch die Belastung des Ökosystems auf die Kosten-Nutzen-Funktion Einfluß nehmen. Ein Agent, der auf dieser Basis eine Gewinnmaximierung vornimmt, berücksichtigt im gleichen Zug auch den Umweltschutz. Um die Autonomie der Unternehmen zu wahren wird die Kostenfunktion jedoch nicht auf einen absoluten Wert abgebildet, sondern auf ein n -Tupel, bestehend aus Kosten, Qualität, Zeit und Schädigung der Umwelt. Somit vollzieht ein Agent bei seinen Handlungen eine mehrdimensionale Optimierung. Dies stellt zwar eine Erweiterung des markt-basierten Kommunikationsprotokoll dar, ermöglicht aber eine effizientere Bearbeitung des realen Problems.

Lösungsstrategien der mehrdimensionalen Optimierung finden sich in Erweiterungen der Entscheidungs- und Spieltheorie für die Anwendung in Multi-Agentensystemen (Rosenschein, 1994).

Der Aspekt der ökologischen Transportorganisation findet hier besondere Berücksichtigung. So kann er schon bei der Gewinnmaximierung berücksichtigt werden, indem eine optimierte Ausnutzung des Lade- und Frachtraums erfolgt. Hier fallen im besonderen Probleme der Zeitdynamik an, die eine optimale Lösung methodisch sehr erschweren. Die Planung muß zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb einer vorher definierten maximalen Planungszeit erfolgen.

Eine globale Verbesserung der Transportorganisation läßt sich durch sinnvoll aufeinander abgestimmte Transportmittelkombinationen erreichen. So ist es z.B. sinnvoll, auf großen Distanzen Schiffe einzusetzen, jedoch muß der Transfer vom Unternehmen zum Hafen trotzdem meist per LKW erfolgen. Auch hier findet sich die zeitliche Abhängigkeit, da nicht jedes Transportmittel zu einem beliebigen Zeitpunkt verfügbar ist. Des weiteren müssen die spezifischen Anforderungen der Kunden wie Just-In-Time Produktion und der Güter wie Verderblichkeit berücksichtigt werden.

Die Komplexität der Planungsprobleme wird dadurch reduziert, daß günstige Teilpläne zu immer wiederkehrenden Transporten memoriert werden und somit möglichst frühzeitig in der globalen Planung Einfluß nehmen.

Verhandlungen erfolgen in diesem Rahmen in Anlehnung an die Argumentationsbasierten Ansätze von Parson et al. (Parson et al., 1998). Hier besitzt jede Verhandlung zwischen Agenten einen endlichen Automaten mit Kenntnis über den aktuellen Zustand der Verhandlung. Dieser Ansatz wird so erweitert, daß nicht nur jede Verhandlung, sondern auch jeder Agent einen Verhandlungsautomaten besitzt. Der individuelle Verhandlungsautomat eines Agenten beschreibt und steuert sein Verhalten in Verhandlungen, also wann er bieten, kaufen oder die Verhandlung verlassen soll. Der Agent kann durch Beobachtung von Verhandlungen und Reflexion seines Verhaltens eine Adaption seines Verhandlungsautomaten vornehmen, was zu einem dynamischen Verhandlungsverhalten führt (s. Abbildung 3). Analog zu der Steuerung der Verhandlungen wird auch das pro-aktive, soziale und reaktive Verhalten eines Agenten jeweils über einen Automaten beschrieben und kann durch geeignete Adaptionsverfahren angepaßt werden.

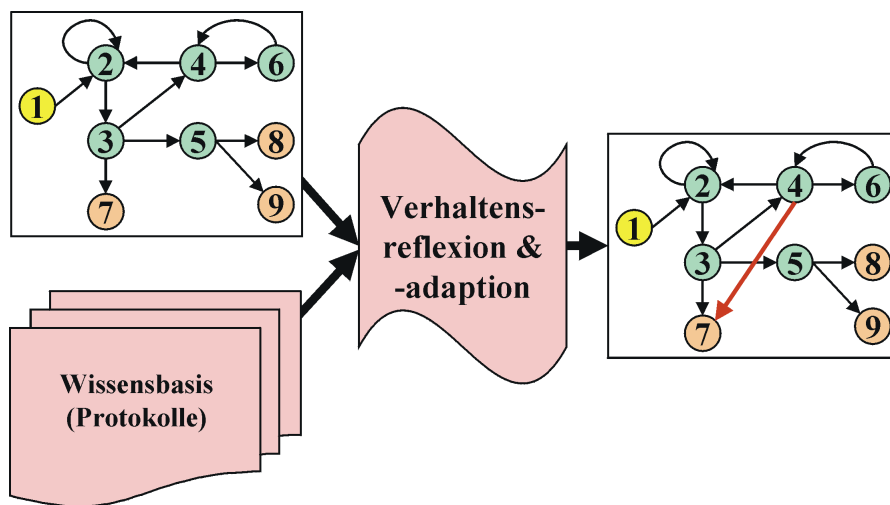


Abbildung 3: Dynamisches Verhandlungssteuerung

Da die kooperative Komponente nicht nur durch die Kommunikation, sondern auch die reaktive, soziale und pro-aktive Steuerung des Agenten übernimmt, stellt sie die wichtigste Ebene innerhalb des Agenten dar.

Hier schlagen wir vor, die kooperative Komponente wieder durch ein Multi-Agentensystem zu realisieren (s. Abbildung 4). Ein solcher Aufbau hat entscheidende Vorteile gegenüber einer einfachen objektorientierten oder funktionalen Entwicklung. Bezüglich der Aufgaben redundante Algorithmen lassen sich leicht in Form von Agenten integrieren. Diese liefern Ergebnisse im wesentlichen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Qualität und helfen ein Anytime-Verhalten zu simulieren, indem elementare aber ineffiziente Algorithmen mit einbezogen werden (*quick and dirty*), die schon nach kürzester Zeit Ergebnisse liefern können.

Ein weiterer Vorteil dieser Architektur liegt darin begründet, daß Dienstleistungen, wie die Frachtraumplanung mittels eines Agenten an andere Agenten verkauft werden können. Hierbei wird der Agent, der die Frachtraumplanung durchführt für bestimmte Zeit aus seiner Umgebung gelöst und dem anderen Agenten zur Verfügung gestellt.

Abbildung 4: Die kooperative Komponente

In dem hier vorgestellten Szenario sollen die Agenten auch auf unvorhergesehene Ereignisse, wie den Ausfall von Transportmitteln o.ä. reagieren können. Zu diesem Zweck ist in dem Multi-Agentensystem der kooperativen Komponente ein Agent für die Ausnahmebehandlung vorgesehen. Er sichert die Stabilität des Marktes. Die primären Elemente innerhalb dieses Agenten sind elementare Pläne oder elementare Ausnahmeregeln, die in Abhängigkeit der Sicherheitsanforderungen des Unternehmens individuell definiert werden. Der Agent zur Ausnahmebehandlung tritt in Notfallsituationen in Kraft, die durch Deadlocks in Verhandlung oder durch unvorhersehbare Ereignisse entstehen. Er basiert auf dem Grundsatz, daß eine schlechte Lösung besser als keine Lösung ist.

Die Verhaltensplanung innerhalb der kooperativen Komponente wird auf der einen Seite wie oben beschrieben mittels Automaten für die elementaren Verhaltensmuster vollzogen, auf der anderen Seite aber auch durch Agenten in dem Multi-Agentensystem der kooperativen Komponente unterstützt. Hierbei sind für die Planung mindestens zwei Agenten vorgesehen, der Individualplanungsagent und der Globalplanungsagent. Die wesentlichen Charakterzüge beider Agenten werden im folgenden kurz vorgestellt.

Der Individualplanungsagent folgt den individuellen Zielen des Unternehmens. Diese sind häufig durch eine Kostenminimierung und Gewinnmaximierung gegeben. Eine wesentliche Ausprägung dieses Agenten konzentriert sich bei den Speditionen auf die Lade- und Frachtraumoptimierung, die eine Kostenminimierung begünstigen

und gleichzeitig das globale Ziel des Umweltschutzes fördern. Der Schwerpunkt bei den Produzenten liegt eher in der Abwägung zwischen den Rahmenbedingungen, der zeitlichen Terminierung und der Zuverlässigkeit des Transportes.

Werden beide Gruppen zusammengefaßt, so kristallisieren sich drei grundsätzliche Probleme heraus, die die Aspekte Raumnutzung, Planungsdynamik und zeitabhängige Beladung betreffen. Das zugrundeliegende Planungsproblem wird als offen bezeichnet und ist somit im Vorfeld nicht vollständig planbar.

Die Komplexität in diesen Problembereichen soll durch den Einsatz von lernenden Agenten reduziert werden. Hier können bewährte Teillösungen durch fallvergleichende Verfahren ausgewählt werden und mit Hilfe des Data Minings möglichst optimale Teillösungen automatisch generiert werden. Die Kombination der beiden Techniken stellt sicher, daß zu jedem Zeitpunkt eine Lösung verfügbar ist und trägt somit der zeitlichen Restriktion Rechnung.

Der Globalplanungsagent stellt einen Baustein der verteilten Agentenplanung des Multi-Agentensystems der Allianz dar. Hier wird über dezentrale, kooperative Teilplanung das globale Ziel des Umweltschutzes gefördert. Die Kooperation erfolgt wiederum auf Basis erweiterter spieltheoretischer Ansätze (Axelrod, 1997). Ein entscheidendes Problem dieses Agenten ist, daß das globale Ziel des Umweltschutzes nicht erreichbar ist. Eine Annäherung soll dadurch erfolgen, daß sich die einzelnen Agenten bemühen, ökologisch sinnvolle Transporte zu planen. Hier müssen wiederum zeitliche Restriktionen in der Planung beachtet werden, so daß der Einsatz von Anytime-Algorithmen zur Planung unerlässlich erscheint, um zu jedem Zeitpunkt eine suboptimale Transportlösung anzubieten. Diese Art der Planung erhöht wesentlich die Kommunikation zwischen den Agenten, soll aber einer zentralen Planung vorgezogen werden um der Unabhängigkeit zwischen den Akteuren gerecht zu werden.

3 Diskussion

Der hier skizzierte Ansatz zur Unterstützung der ökologischen Transportlogistik soll als Konzept einer mehrdimensionalen Optimierung in einem Multi-Agentensystem dienen. Im wesentlichen werden drei neue Konzepte für den Entwurf von Multi-Agentensystemen eingeführt, die dynamische Verhandlungssteuerung, das hierarchische Agentensystem als Erweiterung der MEKKA-Architektur und die Kombination individueller und globaler Ziele in einem Multi-Agentensystem durch markt-basierte Protokolle und Planungselemente auf diesen Ebenen.

Mittels dieser Erweiterungen wird ein Weg aufgezeigt, durch den ökologische Interessen mit ökonomischen kombinierbar sind und adäquat berücksichtigt werden können. Durch die dynamischen Verhandlungssteuerungen ist es den Agenten möglich, sich an den aktuellen Markt anzupassen und somit bessere Verhandlungsergebnisse zu erzielen.

Es bleibt durch prototypische Implementierungen zu zeigen, daß das markt-basierte Protokoll auch in der Anwendung mit n-Tupeln zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt und nicht durch die mehrdimensionale Optimierung inakzeptable Resultate erzeugt werden.

Literatur

- Aichle, C.; Elsner, T.; Thewes, K.-J. (1994): Optimierung von Logistikprozessen auf der Basis von Referenzmodellen. *Management & Computer*, 253-258.
- Axelrod, R. (1997): *The Complexity of Cooperation - Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton.
- Dinkelbach, W. (1962): Unternehmerische Entscheidungen bei mehrfacher Zielsetzung. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 32, 739-747.
- Eckstein, W.E. (1994): Ökonomische und ökologische Wirkungen von Güterverkehrszentren. In *Berichtsband der BVL für den Deutschen Logistik-Kongreß*, 544-561, Berlin.
- Falk, J. (1995): Ein Multi-Agentensystem zur Transportplanung und -steuerung bei Speditionen mit Trampverkehr - Entwicklung und Vergleich mit zentralisierten Methoden und menschlichen Disponenten, Sankt Augustin.
- Fischer, K. (1993): *Verteiltes und kooperatives Planen in einer flexiblen Fertigungsumgebung*, Sankt Augustin.
- Fischer, K.; Kuhn, N.; Müller, H.J.; Müller, J.P. (1995): Modeling the Transportation Domain. *International Journal on Computational Economics*, 8, 81-93.
- Gutenberg, E. (1966): Über einige Fragen der neueren Betriebswirtschaftslehre. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 36, Ergänzungsheft März, 1-17.
- Gibney, M.A.; Jennings, N.R. (1997): Market Based Multi-Agent Systems for ATM Network Management. *Proc. 4th Communications Networks Symposium*, Manchester, UK.
- Lux, A. (1995): *Kooperationen Mensch-Maschine Arbeit - Ein Modellierungsansatz und dessen Umsetzung im Rahmen des Systems MEKKA*, Dissertation, Technische Fakultät der Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Müller, J. (Hrsg.) (1993): *Verteilte Künstliche Intelligenz: Methoden und Anwendungen*, Mannheim.
- Parsons, S.; Sierra, C.; Jennings, N.R. (1998): Agents that Reason and Negotiate by Arguing. *Journal of Logic and Computation*, 8 (3).
- Paschos, V.T. (1997): A Survey of Approximately Optimal Solutions to Some Covering and Packing Problems. *ACM Computing Surveys*, 29 (2).
- Radke, S. (1994): *Verkehr in Zahlen 1994*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Ranze, K.C.; Müller, H.J. (1997): Über den Einsatz von Agenten in Umwelthanwendungen, in: Geiger, W. et al. (eds.): *Umweltinformatik '97 - 11. Internationales Symposium der Gesellschaft für Informatik (GI)*, Straßburg 1997, Marburg.
- Röscher, P. (1993): *Rechnergestützte Tourenplanung unter besonderer Berücksichtigung praktischer Restriktionen*. Dissertation, Universität Bremen.

- Rosenschein, J.S.; Zlotkin, G. (1994): *Rules of Encounter - Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*, Cambridge.
- Wooldridge, M.; Jennings, N.R. (1995): *Intelligent Agents: Theory and Practice*. *Knowledge Engineering Review*, 10 (2).