

Der Arbeitsbereich Technikbewertung und Technikgestaltung der Technischen Universität Hamburg-Harburg ist ein sozialwissenschaftliches Hochschulinstitut, das in engem Austausch mit technischen Disziplinen die sozialen Bedingungen und Folgen der Entwicklung und Nutzung fortgeschrittener Technologien erforscht. Zu den Forschungsschwerpunkten des Arbeitsbereichs gehören unter anderem die *Sozionik*, ein neuartiges Entwicklungsfeld zwischen *Soziologie* und *Informationstechnik*, die Erforschung innovativer technologischer und organisatorischer Konzepte in Industrie und Dienstleistung einschließlich des Verkehrs, sowie die grundlagentheoretische Analyse der gesellschaftlichen Potentiale zukunftsfähiger Technologien.

**Multiagentensysteme für die kooperative
Transportdisposition**

**Das soziotechnische Rationalisierungspotential
der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI)**

Michael Florian
Technische Universität Hamburg-Harburg
Arbeitsbereich Technikbewertung und Technikgestaltung
21071 Hamburg
Tel.: ++49 40 7718 3522
Fax: ++49 40 7718 2635
email: florian@tu-harburg.de

Hamburg, November 1998

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie geht es darum, das soziotechnische Rationalisierungspotential der Multiagenten-Technologie - einem Forschungsgebiet der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI) - für die kooperative Disposition von Transportabläufen einzuschätzen. Im Vergleich zu konventionellen Softwareprogrammen, die mit mathematischen Optimierungsprogrammen des Operations Research arbeiten, sind Multiagentensysteme stärker an den praktischen Anforderungen der Transportdisposition ausgerichtet und bieten dabei ein soziotechnisch angemesseneres Modell der Transportdomäne. Aus soziologischer Sicht sollen dennoch einige Defizite der Modellierung und Simulation der sozialen Praxis in Transportunternehmen benannt und die soziotechnischen Entwicklungsperspektiven der Multiagenten-Technologie in der Transportdisposition aufgezeigt werden.

Abstract

This paper deals with the socio-technical potential of multi-agent systems to rationalize procedures of cooperative transportation planning and dispatching. Compared to conventional software systems operating with optimization procedures (e.g. operations research) multi-agent technology - as part of the research on Distributed Artificial Intelligence (DAI) - is better suited to meet real-world requirements of planning and dispatching processes in the transportation and logistic domain. From a sociological perspective, some weaknesses of simulation and social modelling approaches will be analysed and - against the background of these problems - the opportunities for multi-agent technology in the transportation domain will be discussed in this paper.

1. Einleitung

In den neunziger Jahren hat eine höchst dynamische Entwicklung im Bereich von Transport und Logistik stattgefunden, die sich vor allem durch folgende Merkmale charakterisieren lässt: Deregulierung, Liberalisierung und Segmentierung der europäischen Transport- und Logistikmärkte, verstärkte Internationalisierung und Globalisierung von Produktion und Dienstleistung sowie zunehmende Differenzierung und Individualisierung von Kundenanforderungen (vgl. ausführlicher hierzu Florian 1995). Um sich erfolgreich an die neuen Herausforderungen der veränderten Wettbewerbsbedingungen anzupassen, werden inzwischen auch in der Transportwirtschaft neue Wege gesucht, um die bestehenden Geschäftsprozesse, die organisatorischen Strukturen und überbetrieblichen Kooperationsformen grundlegend zu reorganisieren (Stichworte: "strategische Allianzen" bzw. "Logistiknetzwerke", "virtuelle Unternehmensformen"). Informations- und Kommunikationstechnologien werden in diesem Zusammenhang nicht mehr allein als Mittel für die Planung, Kontrolle und Steuerung der operativen Prozesse eingesetzt, sondern auch als ein Instrument genutzt für die Gestaltung unternehmensinterner und -übergreifender *organisatorischer* Strukturen und Abläufe.

Vor diesem Hintergrund gewinnt in der kooperativen Planung und Disposition von Transportprozessen eine neuartige Technologie an Bedeutung, die gegenwärtig unmittelbar vor ihrer betrieblichen Anwendung steht: *die (Multi-)Agententechnologie*. Multiagentensysteme (MAS) sind ein Forschungsgebiet der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI), das sich damit beschäftigt, wie autonome "intelligente" Systeme ("Agenten") ihr spezifisches Wissen, ihre Ziele, Fähigkeiten und Pläne aufeinander abstimmen, um *koordiniert* handeln oder Probleme lösen zu können (vgl. Bond & Gasser 1988; Müller 1993; Wooldridge & Jennings 1995). Am Beispiel der Transportdisposition von Speditionen, die innerhalb der Verteilten KI als ein Referenzszenario für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Multiagentensystemen benutzt wird, soll im folgenden Beitrag geklärt werden, welches spezifische soziotechnische Rationalisierungspotential die Multiagenten-Technologie der Verteilten KI für die *kooperative* Transportdisposition bietet.

Zu diesem Zweck sollen im folgenden Beitrag zunächst einige Entwicklungstrends in Transportwirtschaft und Logistik skizziert werden, die einen neuartigen Innovationsbedarf nach einer informations- und kommunikationstechnischen Unterstützung der lateralen Kooperation und sozialen Koordinierung in unternehmensübergreifenden Dispositionsprozessen markieren (Kapitel 2). Daran anschließend werden typische Aufgaben, Problemstellungen und Anforderungen der Dispositionspraxis in Speditionen und Transportunternehmen vorgestellt, die den Bezugspunkt für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit technischer Hilfsmittel bilden (Kapitel 3).

Dann werden die Anwendungsdefizite herkömmlicher Ansätze der Planung und Disposition von Transportprozessen untersucht, die mit Optimierungsmethoden des Operations Research arbeiten (Kapitel 4). Meine Annahme ist, daß die theoretische Logik der bestehenden Optimierungsverfahren eine ungenügende Praxisreferenz aufweisen und deshalb erst an die spezifischen Anforderungen der Planungs- und Dispositionsarbeit in Speditionen und Transportfirmen angepaßt werden müssen. Der Einsatz von OR-Methoden führt in der Transportwirtschaft - soziologisch betrachtet - zu einer Abwertung der praktischen Heuristik und des professionellen Erfahrungswissens der Disponenten und Lkw-Fahrer. Die Sensibilität und Widerstände, mit denen diese Akteure auf eine Nutzung der konventionellen computergestützten Planungs- und Dispositionssysteme reagieren, ist als ein Versuch zu werten, eine Abwertung ihres "Informationskapitals" abzuwehren und eine Domestizierung ihrer "wildem" Dispositionspraxis im Güterverkehr zu verhindern.

Am Beispiel unterschiedlicher Prototypengenerationen, die am Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz (DFKI) seit Beginn der neunziger Jahre entwickelt worden sind, soll gezeigt werden, inwieweit die Verteilte KI das sozio-technische Design ihrer Multiagentensysteme in Analogie zu den praktischen Anforderungen des Anwendungsfeldes entwickelt hat und welche Rolle dabei das Alltagswissen über die soziale Welt der Transportdisposition gespielt hat (Kapitel 5). Meine These ist, daß die VKI-Technologie, gerade weil sie eine stärker auf die Dispositionspraxis des Transportablaufes ausgerichtete Modellbildung betreibt, ein sozio-technisch angemesseneres Modell der Transportdomäne bietet als dies bislang von konventionellen Softwareprogrammen geleistet worden ist, die lediglich eine Implementation der theore-

tischen Logik von mathematischen Optimierungsprogrammen (z.B. mit Hilfe des Operations Research) versuchen. In einem Ausblick sollen abschließend aus soziologischer Sicht einige Defizite der Modellierung und Simulation der sozialen Praxis in Transportunternehmen benannt und soziotechnische Entwicklungsperspektiven der Multiagentensysteme in der Transportdisposition aufgezeigt werden (Kapitel 6).

2. Entwicklungstrends in Transport und Logistik: Die wachsende Bedeutung unternehmensübergreifender Kooperation

In den letzten Jahren hat die Entwicklung der Marktbedingungen bei den Produktions- und Handelsunternehmen, d.h. bei einem Großteil der Kunden der Transport- und Logistikunternehmen, einen wachsenden Integrations- und Koordinierungsbedarf erzeugt, aus dem sich eine zunehmende Nachfrage nach logistischen Systemdienstleistungen und nach organisatorischen Innovationen ergibt. Im Übergang von einer Spezial- zu einer Querschnittsfunktion trifft die veränderte Logistknachfrage bei Industrie und Handel auf ein neuartiges, logistisch definiertes Selbstverständnis bei Speditionen, Bahnen und Serviceanbietern, die neben den klassischen Transport-, Umschlag- und Lagerungsangeboten nunmehr auch Dienste für die Integration und Koordinierung unternehmensübergreifender Transport- und Logistketten anbieten. In Zukunft muß die soziotechnische Umgestaltung der Arbeitsorganisation und Unternehmenskultur in Speditionen die Entwicklung unternehmensübergreifender und landesgrenzenüberschreitender logistischer Arbeits- und Prozeßketten stärker berücksichtigen. Erfolgreiche Speditionen werden sich deshalb künftig verstärkt mit der gemeinsamen Prozeß-, Produkt- und Strukturinnovation entlang logistischer Ketten beschäftigen müssen, um die Ansprüche an eine unternehmensübergreifende Abstimmung und Kooperation besser zu befriedigen und die neuartigen Anforderungen an ein Management logistischer Netzwerke zwischen Hierarchie und Markt in den Griff zu bekommen.

Mit dem Selbstverständnis der Logistik, unternehmensübergreifende Prozeßketten zu integrieren und zu koordinieren, ist ein erweitertes Innovationsverständnis verbunden, das grundlegende Neuerungen als Resultat einer simultanen Veränderung der Produkt-, Prozeß- und Strukturgestaltung entlang der logistischen Ketten begreift. Die Bedeutung ineinandergreifender Produkt-, Prozeß- und Struk-

turinnovationen wird deutlich, wenn man die jüngsten Entwicklungstrends bei Transport- und Logistikunternehmen betrachtet, in denen das verkaufte "Dienstleistungsprodukt" zu einem erheblichen Teil aus einer Gestaltung von Prozessen besteht.

Zunächst läßt sich ein Trend zur Ausweitung und Differenzierung der herkömmlichen Angebotspalette von Transport- und Speditionsunternehmen beobachten. Dies gilt für die Spezialisierung auf bestimmte Transportgüter und das Zuliefern einzelner Komponenten für logistische Komplettangebote, für standardisierte Systemdienstleistungen (z.B. flächendeckende Verteilerverkehre) und für die individuell für einzelne Kunden zu erbringenden Spezialdienste (vgl. z.B. von Portatius 1992). Da Transportleistungen selbst wenig einbringen, wird von vielen Speditionen vor allem auf dem Feld der Mehrwertdienste und "Kontrakt-Logistik" eine Profilbildung angestrebt. Im turbulenten Marktsegment der Stückgut-Logistik werden seit Beginn der achtziger Jahre vor allem zwei Entwicklungstendenzen deutlich (vgl. Freichel 1992, S. 18ff.). Zum einen tauchen mit den "*Integrators*" neue innovationsstarke Wettbewerber neben den etablierten Speditionen und Transportunternehmen auf, die auf dem sich rasch entwickelnden europäischen Markt für "schnelle Dienste" neue Maßstäbe für logistische Leistungsfähigkeit und Qualität setzen. Zum anderen wird von vielen Kunden ein Aufbau flächendeckender Logistikservice-Netzwerke verlangt. Da diese Anforderung aber kaum aus eigener Kraft bewältigt werden kann, werden unterschiedliche Strategien verfolgt, die eigene Leistungsfähigkeit durch *Kooperation* oder *Konzentration* (d.h. entweder durch die Fusion mit anderen Logistikunternehmen oder durch die Akquisition von "Platz-Spediteuren") zu verbessern.

Mit ihren starken organisatorischen und technischen Innovationsimpulsen sind die "Integrators" in dem expandierenden Marktsegment der Kurier-, Expres- und Paketdienste (KEP) eine große Herausforderung für die etablierten Transport- und Speditionsunternehmen, die zum Teil ebenfalls KEP-Dienste anbieten (vgl. Eyett 1994; Walford 1994; Manner-Romberg 1994; Geissler 1994; Schmied 1994; Maruhn 1994; Freichel 1992, S. 29ff.; Läßle et al. 1993, S. 27ff.). Eine eindeutige Trennung oder Zuordnung einzelner Anbieter scheint heute kaum noch möglich, zumal sich eine Tendenz abzeichnet, wonach die Grenzen zwischen den neuen KEP-Diensten und den traditionellen Sammelgutspeditionen fließend geworden sind, besonders was die Aufhebung von Gewichtsbeschränkungen und das ver-

stärkte wechselseitige Engagement im jeweils konkurrierenden Marktsegment betrifft (vgl. z.B. Eyett 1994; Walford 1994; Freichel 1992, S. 29; Läßle et al. 1993, S. 29). So werden auch Speditionen und Bahnen in ihren Leistungsangeboten immer mehr zur Übernahme von Produkt- und Prozeßinnovationen gezwungen, die zuerst von Kurier-, Express- oder Paketdiensten erfolgreich eingeführt worden sind. Dies gilt beispielsweise für den Aufbau neuer "Produktstrukturen" auf der Grundlage von Nabe-und-Speiche-Systemen oder für informationslogistische Serviceleistungen (z.B. Sendungsdatenverfolgung), die sich bei vielen Speditionen bereits im Einsatz oder derzeit im Aufbau befinden.

Mit einer Bündelung logistischer Servicekomponenten über eine Naht- bzw. Verbundstelle, einem weltweit zugesicherten gleichen Qualitätsstandard und einer vereinheitlichten Organisation ist der Integrator für viele Kunden attraktiv, die vor Make, Buy oder Associate-Entscheidungen stehen und die Anzahl ihrer externen "Schnittstellen" reduzieren möchten. Umgekehrt können die global agierenden Integrators von den etablierten Speditionen und Kooperationen mittelständischer Speditionen lernen, daß die jeweiligen Marktbedingungen, kulturellen Eigenheiten und regionalen Einbindungen bei der Expansion auf den europäischen Märkten wesentlich stärker zu berücksichtigen sind (für TNT vgl. Schmied 1994, S. 72; für DHL vgl. Hammacher 1994, S. 24). Die Expansionsstrategien multinationaler Transportunternehmen trifft besonders bei ausgeprägt nationalen und regionalen Unternehmenskulturen wie in Frankreich, Portugal, Italien oder Spanien auf Widerstände, die eine Integration aufgekaufter Unternehmen in das standardisierte Konzept als schwierig erscheinen lassen (vgl. Läßle et al. 1993, S. 30). Aufgrund von Finanzierungs- und Auslastungsproblemen mußten einige Integrators zu Beginn der neunziger Jahre auf europäischen Märkten etwas kürzer treten (z.B. Federal Express, DHL und TNT; vgl. ebd., S. 29f.). So hat beispielsweise DHL auf eine Diversifizierung seines Dienstleistungsangebotes gesetzt, um die Verbundvorteile von Kooperationen dafür zu nutzen, seinen flächendeckenden Service weg von zentraler Organisation und Abwicklung zu regionalisieren (z.B. durch eine strategische Allianz mit der DEA Mineralöl AG, vgl. Hammacher 1994).

Die hohen Anforderungen der europäischen Märkte an die beschleunigte, jederzeit kontrollierbare und steuerbare Abwicklung von Transportleistungen, der Trend zu integrierten Haus-zu-Haus-Verkehren und logistischen Leistungen aus einer Hand, die hohen Qualitätsansprüche und Lieferzeitgarantien lassen sich

künftig nicht mehr auf das Marktsegment der Express-, Kurier und Paketdienste beschränken. Dies gilt auch für die wachsende Bedeutung der Ökologistik und der umweltverträglichen multimodalen bzw. kombinierten Verkehrsformen, die auf den logistischen Märkten der Zukunft in starkem Maße wettbewerbsrelevant sein werden.

Die Markteintrittsbarrieren für neue Produkte von hoher logistischer Qualität und die Ressourcen für die Unterhaltung flächendeckender (europaweiter) Servicenetze sind aber mittlerweile so hoch angesetzt, daß selbst finanzstarke Großkonzerne Schwierigkeiten haben, den erforderlichen Aufwand aus eigener Kraft zu leisten. So deutet sich nicht nur im Bereich mittelständischer Speditionen ein Trend in Richtung einer verstärkten horizontalen Zusammenarbeit an, sondern auch die großen Speditionen versuchen durch "*strategische Allianzen*" gemeinsame Ziele mit vergleichsweise geringerem - weil: geteiltem - Risiko und finanziellen Engagement zu realisieren.¹ Die Erweiterung oder Durchdringung des Marktes (z.B. durch flächendeckende Serviceangebote, durch die Entwicklung neuer gemeinsamer Produkte, durch die Erhöhung der Marktpräsenz und -transparenz oder durch den Zugang zu neuen Märkten - besonders auf europäischer und globaler Ebene), die Verbesserung der Servicequalität (z.B. Lieferzeiten, Zuverlässigkeit, Flexibilität, vereinheitlichte Qualitäts- und Leistungsstandards) oder Kostensenkungspotentiale (z.B. Größen- und Verbundvorteile, Rationalisierungs- und Synergieeffekte) gelten als vorrangige Ziele einer Beteiligung von Speditions- und Transportunternehmen an strategischen Allianzen (vgl. Boes 1993, S. 342). Beispiele für solche Allianzen finden sich im Bereich mittelständischer Speditionen (vgl. z.B. Boes 1993 für IDS-ONE DAY und GERMAN PARCEL oder Amberger 1993 für die frühere LOG SPED)², bei den zahlreichen Fahrge-

¹ Unter einer "strategischen Allianz" wird eine Kooperation zwischen ökonomisch und rechtlich selbständigen Unternehmen gleicher oder unterschiedlicher Branchen verstanden, die aus einem wechselseitigen Bedürfnis heraus zusammenarbeiten und die Risiken teilen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen (vgl. Lewis 1991, S. 14; Weber und Kummer 1994, S. 226). Dieses Verständnis entspricht dem, was bei Sydow (1992, S. 248f.) "interorganisationales Netzwerk" genannt wird, im Unterschied zum "strategischen Netzwerk", das von einer "fokalen Unternehmung" *strategisch geführt* wird.

² IDS und LOG SPED zeigen zugleich die Widersprüchlichkeit der Entwicklungen auf. Mit ihren ca. 7.000 Beschäftigten und etwa 2,5 Mrd. DM Umsatz hat die strategische Allianz der 22 IDS-Partner eine Größenordnung erreicht, die rechnerisch unter den zwanzig größten Speditions- und Transportkonzernen Europas rangiert. Andererseits ist der Spedi-

meinschaften zur Bündelung des städtischen Güterverkehrs ("City-Logistik") sowie bei den strategischen Allianzen zwischen Bahnen und Speditionsunternehmen.

Mit der Herausbildung strategischer Allianzen gewinnt eine *intermediäre Organisationsform* ökonomischer Aktivitäten an Bedeutung, die bei der Entscheidungsfindung und Koordination genau *zwischen* Markt und Unternehmenshierarchie verortet ist (vgl. im folgenden Sydow 1992, S. 246ff.). Märkte werden üblicherweise über den Preismechanismus koordiniert und durch freien Zugang und Austritt gebildet, während Hierarchien über persönliche Anweisungen oder technokratisch über Pläne und Programme koordiniert werden und dabei vor allem auf die Stabilität und Kontinuität der Abläufe und Strukturen ausgerichtet sind. Allianzen oder Netzwerke kombinieren dagegen Merkmale marktbezogener *und* hierarchischer Koordination, weswegen sie auch als *hybride oder polyzentrische Organisationsform* bezeichnet werden. Die relative Autonomie der ökonomisch und rechtlich selbständigen, in das Netzwerk eingebundenen Kooperationspartner bewirkt im Idealfall, daß das Verhalten des Netzwerkes das Ergebnis weitgehend dezentral getroffener Entscheidungen ist, in denen Verhandlungen an die Stelle von ökonomischer Potenz und bürokratischer Weisung treten und das gegenseitige Vertrauen und Verstehen die für Integration und dezentrale Koordination notwendigen kooperativen Bindungen verstärkt. Gegenüber der flexiblen, aber unsicheren und turbulenten Koordination durch Märkte und der zuverlässigen und berechenbaren, aber schwerfälligen Koordination durch Hierarchien erscheint die Koordination über eine langfristig gebundene Zusammenarbeit leistungsfähiger und offener für schnelle Reaktionen. Dezentralisierungstendenzen lassen sich auch innerhalb von Speditionen und Transportunternehmen ausmachen. Dabei verfolgt die dezentrale und kundennahe Reorganisation der Unternehmensstrukturen das Ziel, Entscheidungskompetenzen und Verantwortung auf die operative Ebene zu verlagern (vgl. z.B. Mündemann 1994 für die Umstrukturierung bei TRANSPERAKHT).

tionsverbund LOG SPED mittlerweile keine mittelständische Kooperation mehr, sondern hat sich nach einer zweijährigen Umstrukturierung in eine dezentralisierte Konzernspedition nach dem Profit-Center-Prinzip gewandelt, die von der "Aktiengesellschaft für Industrie und Verkehrswesen AGIV" dominiert wird (vgl. "Log Sped keine Kooperation mehr: Im Markt zeichnen sich Oligopole ab". In: DVZ Nr. 132 vom 5.11.1994, S. 1).

Dennoch bleibt das Management dezentralisierter interorganisatorischer Geschäftsprozesse eine Gratwanderung, bei der die Vorteile unterschiedlicher Netzwerk- und Organisationsstrukturen im Einzelfall erst ausgelotet werden müssen. Ob die Zukunft strategischen Allianzen oder sogar "virtuellen" Logistikunternehmen gehören wird, bleibt offen, solange es neben flexibel wechselnden Kooperationen und Allianzen auch Gegentendenzen gibt, die für eine *Verstärkung der Konzentrationsprozesse* sprechen und eine *Herausbildung von marktstarken Oligopolen und "Mega"-Transportunternehmen* ankündigen (vgl. Cooper, Browne und Peters 1991, S. 195ff.; Plehwe 1993). Ganz gleich, welche der beiden Tendenzen die Oberhand gewinnen mag, in jedem Fall ist mit steigenden Anforderungen an die Integration dezentraler Geschäftseinheiten, an die Koordinierung der verteilten Arbeitsprozesse und an das Management der komplexen logistischen Prozeßketten zu rechnen.

Nach allem, was wir bislang aus der Forschung über *innovationsfördernde Unternehmensstrukturen* wissen, werden Erneuerungsprozesse in Organisationen vor allem durch folgende Bedingungen begünstigt (vgl. Kieser & Kubicek 1992, S. 382; von Rosenstiel 1992, S. 346f.): geringe Spezialisierung und Standardisierung, hohe Aufgabenkomplexität, starke Dezentralisierung und flache Hierarchien, ausgeprägter Informationsaustausch innerhalb der Organisation und intensive Kontakte nach Außen, einfache Koordination und verstärkte Spielräume für Selbstabstimmung und Organisationskultur zwecks Koordinierung der innovativen Aktivitäten. Beim gegenwärtigen Stand der Forschung wissen wir noch nicht genau, ob diese Anforderungen in gleicher Weise auch für Transport-, Speditions- und Logistikunternehmen gelten, deren Innovationsfähigkeit davon abhängt, die räumlich verteilten Akteure eines weitläufigen Kooperationsnetzes in den Erneuerungsprozeß einzubinden. Die Qualität der logistischen Dienstleistung wird aber maßgeblich durch die Qualifikation, Motivation und Leistungsbereitschaft der beteiligten Menschen bestimmt, deren Kreativitäts- und Flexibilitätspotential von belastenden Routinen befreit und durch geeignete Organisations- und Datenverarbeitungsarchitekturen gestärkt werden sollte. Welche spezifischen Anforderungen an technische Hilfsmittel stellen sich nun in der Praxis der Transportdisposition?

3. Disposition als "Domäne": Eine soziologische Betrachtung der Transportdisposition

Ist in der Künstlichen Intelligenz von einer "Domäne" (*knowledge domain*) die Rede, dann ist damit ein abgegrenztes "Wissensgebiet" gemeint, über das ein Experte oder ein technisches System *Wissen* besitzt (Harmon & King 1989, S. 290; Behrendt 1990, S. 383; Schumacher 1990, S. 57). Aus soziologischer Sicht verbindet sich mit dem Begriff der Domäne dagegen ein doppeldeutiger Sinn, der sich nicht nur auf ein besonderes Arbeits-, Wissens- oder Spezialgebiet bezieht, sondern auch ein "Herrschaftsgebiet" (lat. *dominium*) oder einen "Staatsbesitz" bezeichnet (vgl. DUDEN Fremdwörterbuch 1974, S. 187). Die Vernachlässigung der soziologischen Erkenntnis, daß der betriebliche Einsatz und die Gestaltung von sozio-technischen Arbeitssystemen ein arbeits- und mikropolitisch "umkämpftes Terrain" (Edwards) ist, hat viele ambitionierte Rationalisierungsprojekte - wenn nicht zum Scheitern - so doch zumindest zur Ernüchterung gebracht (für eine Analyse der Anwendungsschwierigkeiten speziell der Expertensystemtechnologie in der industriellen Praxis vgl. Malsch et al. 1993).

Wenn in der Verteilten KI nach eigenem Bekunden versucht wird, die "Transportdomäne" als ein System kooperierender Agenten zu modellieren (vgl. z.B. Fischer & Kuhn 1993, Fischer et al. 1993a), dann ist damit zunächst nichts weiter gemeint als die Entwicklung eines "Szenarios", das die Probleme der Koordination und Kooperation innerhalb sowie zwischen Transportunternehmen möglichst realitätsnah beschreibt. Diese Beschreibung dient dann als Grundlage dafür, das praktische Problemlösen in Speditionen und Transportfirmen unter Verwendung von VKI-Methoden zu modellieren und als Multiagentensystem in Form eines Prototypen zu konstruieren, der den Problemlösungsprozeß im Transportwesen simuliert und dabei die praktischen Anforderungen des Anwendungsfeldes an eine "*real-world application*" erfüllt.

Mit dieser für die VKI-Informatik typischen Vorgehensweise ist kein expliziter Herrschaftsanspruch verbunden, der sich aus der ambivalenten gesellschaftlichen Bedeutung des Besitzes von Wissen ableiten ließe. Gleichwohl - so meine These - muß eine erfolgversprechende Modellierung der Dispositionsarbeit in der Transportwirtschaft die impliziten sozialen Funktionen, Ne-

benwirkungen und Folgen einer möglichen Transformation des Erfahrungswissens berücksichtigen, um den Ansprüchen an ein anwendungstaugliches Multiagentensystem in der Praxis zu genügen. Welche praktischen Aufgaben und Anforderungen sind bei der Modellierung und Simulation der Transportdisposition zu beachten und wie ist die Informatik bislang mit ihnen umgegangen?

Zum Aufgabenbereich der Disposition in Speditionen des Straßengüterverkehrs gehört im allgemeinen der enge Kontakt zu den Kunden (Akquisition von Transportaufträgen), die Organisation des Transportablaufes, die Erteilung von Transportaufträgen (inklusive Erstellung der sendungs- und fahrzeugbezogenen Begleitpapiere) sowie die grobe Rahmenkontrolle über den Transportablauf samt den dafür erforderlichen Ad-hoc-Entscheidungen und korrigierenden Eingriffen. Die Lkw-Fahrer ihrerseits führen den Transportauftrag aus mit den für die Verwirklichung der Transportdienstleistung erforderlichen Detailtätigkeiten (z.B. Be- und Entladen, "Fahren" als höchst komplexes und Flexibilität erforderndes Aufgabenfeld, Kundenkontakte und zusätzliche Serviceleistungen für den Kunden, Feinplanung und permanente Überwachung des Transportablaufes). Die zentrale Aufgabe der Disposition, den Transportprozeß zu planen und zu organisieren, läßt sich noch in weitere Teilaufgaben zerlegen wie z.B. die Auswahl und wechselseitige Abstimmung der beteiligten Verkehrsträger (Lkw, Bahn etc.), die Planung des Fahrereinsatzes und der Sendungsverteilung (nach Laderaum, Sendungsarten, Touren etc.), die Koordinierung des Transportprozesses mit den erforderlichen Nebenleistungen (Lagertätigkeit, Umschlag etc.) sowie mit den Transportleistungen anderer Verkehrsunternehmen. An der Schnittstelle zwischen Kunden, Auftragsabwicklung und Fahrern werden leistungsfähige Entscheidungshilfen für die Fahrzeugdisposition benötigt, da der Lkw-Disponent unzählige Einflußfaktoren, Ungewißheiten und Störungsmöglichkeiten in seine Überlegungen und Entscheidungen einbeziehen muß (vgl. Möhlmann et al. 1993c, S. 189). Erfahrene Disponenten können zwar einen Teil der Fahrzeugeinsätze routinemäßig schnell erledigen, zu Problemen kommt es aber vor allem dort, wo es um die gezielte Verbesserung der Auslastung der einzelnen Fahrzeuge, der Touren und des Fuhrparks im ganzen geht - besonders beim Linienverkehr, bei dem der Einsatz einer größeren Anzahl von eigenen Fahrzeugen optimiert und zum Teil auch mit dem Einsatz fremder Fahrzeuge koordiniert werden muß (vgl. ebd.). Solche kooperati-

ven Formen der Lkw-Disposition stellen extrem hohe Anforderungen an eine EDV-technische Unterstützung.

Während sich die EDV-Unterstützung in Speditionen und Transportunternehmen schon recht frühzeitig im Bereich kaufmännischer Tätigkeiten etablieren konnte (z.B. für die Buchhaltung und Statistik sowie für die Erfassung und Fakturierung von Aufträgen), ist das organisatorische Tätigkeitsumfeld der Transportdisposition bezeichnenderweise derjenige Bereich in der Transportwirtschaft, bei dem die *Arbeitspraxis* bislang noch am wenigsten durch EDV-Programme unterstützt wird. So werden mittlerweile zwar zahlreiche Softwareprogramme für die Tourenplanung angeboten, diese werden aber entweder erst gar nicht angeschafft, kaum oder gar nicht benutzt oder sie entsprechen nicht den praktischen Anforderungen des Anwendungsfeldes, besonders was die Software-Ergonomie³ betrifft. So benutzen einer Marburger Untersuchung zufolge etwa drei Viertel der befragten Disponenten, die über ein Terminal oder einen PC verfügen, diese Hilfsmittel nur selten (vgl. Dahrendorf und Roth 1992; Bogedale et al. 1991). Alles in allem weist der EDV-Einsatz in Speditionen - vor allem im Bereich der Disposition - *erhebliche Anwendungs- und Nutzungsdefizite* auf (vgl. Bogedale et al. 1991; Dahrendorf & Roth 1992; Bargl 1992; Bertram et al. 1992; Möhlmann et al. 1993a-d; Freichel 1992). Wo die Gründe für die Defizite im Bereich computergestützter Tourenplanungssysteme⁴ zu suchen sind, zeigen die Ergebnisse einer Befragung von Disponenten, Fuhrpark- und Logistikleitern (Bargl 1992): Innovationswiderstände und Implementationsprobleme werden hier auf dem Gebiet computergestützter Tourenplanung in erster Linie im Bereich der Akzeptanz gesehen (39%: man-

³ Die Akzeptanz- und Nutzungsschwierigkeiten des EDV-Einsatzes im Dispositionsbereich von Speditionen sind bei näherer Betrachtung nicht weiter überraschend, wenn man beispielsweise an die gravierenden Defizite bei der Softwaregestaltung denkt, die von einer Oldenburger Forschungsgruppe untersucht worden sind (vgl. Bertram et al. 1992; Möhlmann et al. 1993a-d; Nachreiner et al. 1994). Die Analysen ergaben, daß der Aufgabenbereich der Disposition in etwa 60% der befragten Speditionen noch manuell bearbeitet wurde, obwohl eine EDV-Unterstützung von den Softwareprogrammen her grundsätzlich vorgesehen war (Möhlmann et al. 1993c, S. 189).

⁴ Bei einem potentiellen Anwenderfeld von etwa 8.000 bis 11.000 Betrieben sind im deutschsprachigen Raum bis in die neunziger Jahre hinein lediglich 247 Installationen bekannt, die sich zudem auf die Branchen Lebensmittel, Getränke und Möbelindustrie sowie Pharma und Pressevertrieb konzentrieren. Im Bereich der klassischen Sammelgutspeidition war bis zu Beginn der neunziger Jahre noch kein Einsatzfall bekannt geworden.

gelnde Überzeugung der Disponenten oder Widerstände bei den Fahrern, Ablehnung neuer Abläufe, innere Widerstände in der Firma), dann bei Softwareproblemen (24%), bei der Datenerhebung (21%) und beim Einführungsprozeß selbst (12%: Abstimmung mit Hersteller, zu lange Implementationszeiten, organisatorische Einbindung) und erst an letzter Stelle (3%) bei den Kosten.

Herkömmliche Softwarelösungen, die beispielsweise lediglich eine Zuweisung von Sendungen nach Postleitzahlen erlauben, decken nur einen Teilbereich des umfassenden Aufgabenspektrums der Disponenten ab. Um sinnvolle Vorschläge für die Zusammenstellung von Gütersendungen machen zu können, benötigt die EDV zusätzliche Informationen über die einzelnen Sendungen (z.B. über den Umfang, das Volumen und die Maße der Teilladungen, über Anweisungen zum gütergerechten Handling etc.), die aber üblicherweise erst relativ spät zur Verfügung stehen und deshalb in den meisten Fällen von den Disponenten erst vor Ort und per Augenmaß erfaßt werden können (vgl. Möhlmann et al. 1993d). Ein "intelligentes" Softwareprogramm, das sinnvolle Empfehlungen für die Tourenplanung oder alternative Vorschläge für die Zuordnung von Sendungen zu Touren entwickelt, müßte deshalb nicht nur die benötigten topographischen Angaben in geeigneter Detaillierung enthalten, sondern darüber hinaus über die (zum Teil sehr sensiblen) Kenntnisse über Kunden, Entladestellen und das zu befördernde Gut verfügen (z.B. über die Zugänglichkeit der Entladestellen für bestimmte Lkw-Typen, über vorgeschriebene Entladezeiten und benötigte Hilfsmittel wie Gabelstapler, Ameise oder Kran, über die von guten Kunden verlangten Sonderkonditionen, über vereinbarte Zusatzleistungen der Lkw-Fahrer wie Kommissionierung oder Regalbestückung etc.).

Solche detailreichen Kenntnisse und persönlichen Erfahrungen über die Besonderheiten einzelner Touren und Abwicklungsbedingungen gehören zum personengebundenen Erfahrungswissen der jeweils in den Dispositionsabteilungen tätigen Experten. So ist es nicht weiter überraschend, daß die Arbeitsabläufe in der Lkw-Disposition "von Individualisten in manueller Art und Weise praktiziert" werden und dadurch "von Speditionsunternehmen zu Speditionsunternehmen sehr unterschiedlich ausgeprägt" sind (Möhlmann et al. 1993c, S. 189). Die hochgradige "Individualität", mit der erfahrende Disponenten ihre Planungs- und Steuerungsaufgaben praktisch zu bewältigen versuchen, steht

nicht immer und ohne weiteres im Einklang mit der strengen, formalen Logik betriebswirtschaftlicher Zielsetzungen, die zum Teil selbst widersprüchlich und vor dem Hintergrund aktueller Kundenanforderungen interpretationsbedürftig sind. Selbst für den idealisierten Fall, daß die Minimierung der Fuhrparkkosten als maßgebliches Bewertungskriterium für die Transportplanung und -disposition von allen Beteiligten akzeptiert wird, offenbaren sich Schwierigkeiten, die einzelnen "objektiven Funktionen" betriebswirtschaftlicher Kostenrechnung konfliktfrei miteinander in Einklang zu bringen. Nach welchen *Kriterien* der praktischen Heuristik werden in der menschlichen Transportdisposition "objektive" Widersprüche bewertet und "aufgelöst", wenn beispielsweise die Maximierung der Nutzung der Lkw-Kapazitäten mit der Minimierung der Fahrzeiten und Fahrten ohne Ladung konfligiert oder mit der Minimierung der Routenlänge pro Transportauftrag sowie zeitlichen Restriktionen, die zwar keinen Beitrag zur Minimierung der Transportentfernungen leisten, dafür aber in der Dispositionspraxis schon wegen entsprechender Kundenanforderungen als genauso relevant erscheinen (vgl. Fischer & Kuhn 1993, S. 19 und 42). Von soziologischer Seite wird die Idealisierung betriebswirtschaftlicher Rationalitätskonzepte in Form einer "zu maximierenden Präferenzfunktion" als "Fiktion einer einheitlichen Wertorientierung und eines einheitlichen Erfolgsmaßstabes" kritisiert, die mit ihrer sterilen Entscheidungslogik bestehende Variabilitätsspielräume übersieht und von sozialen Willensbildungsprozessen, von betrieblichen Herrschaftsstrukturen und innerorganisatorischen Konflikten abstrahiert (vgl. bereits die Kritik von Albert 1967, S. 392ff.).

Der auf dem Transportmarkt herrschende Konkurrenzdruck wird in den Speditionen und Transportunternehmen auf die operativen Bereiche weiterverlagert, wo die Ausschöpfung von Rationalisierungsreserven zur Verbesserung der Rentabilität bei sinkenden Transportpreisen beitragen soll (z. B. durch die Erhöhung des Auslastungsgrades, durch bessere Planungsvorgaben der Kapazitäten oder durch eine stärkere Kontrolle der Ungewißheiten; vgl. Florian 1994, S. 76ff.). Mit Hilfe von Kooperationen (Strategische Allianzen) oder Konzernbildungen (Aufkäufe, Fusionen) wird unternehmensübergreifend versucht, die bestehenden Kräfteverhältnisse auf dem Transportmarkt zu den eigenen Gunsten zu verändern und die Position einzelner Unternehmen zu stärken.

Eine soziologische Analyse der Transportdomäne läßt vermuten, daß die arbeits- und leistungspolitisch scheinbar neutrale "rationale" Logik der Transportplanungsverfahren im inner- und zwischenbetrieblichen Kräfteverhältnis praktische soziale Wirkungen entfalten wird, die von den betroffenen Akteuren nicht ohne weiteres akzeptiert werden. Die Implementation neuer Planungs- und Dispositionstechnologien provoziert häufig arbeits- und mikropolitische Widerstände oder sogar offene Auseinandersetzungen um den Einsatz der Technik und die Organisation der Arbeit. Der Einsatz computergestützter Planungs- und Dispositionssysteme greift in die bestehenden Kräfteverhältnisse ein. Das professionelle Erfahrungswissen der Disponenten und Fahrer kann dabei vor dem Hintergrund der hohen Komplexität, Dynamik und Ungewißheit der Transportplanung und -steuerung als eine strategische Ressource genutzt werden, um Planungsansätze zu verwirklichen oder zu unterlaufen. Jeder Versuch, dieses "Informationskapital" durch die mittels Rationalisierung anvisierte Verbesserung der Transparenz, Kontrolle und Steuerung der Disposition zu "enteignen" (Stichwort: "gläserne Spedition" oder "gläserner Lkw"), provoziert Widerstände auf seiten derer, für die das vertrauliche Wissen bislang noch "Profite" im innerbetrieblichen Kräfteverhältnis abwirft. Dies gilt nicht nur für das einzelne Transportunternehmen, in dem das professionelle und praktische Erfahrungswissen der Disponenten und Fahrer vor dem Verlust der Vertraulichkeit (und damit der eigenen Verwertbarkeit) geschützt wird, sondern auch für das Kräftefeld der Transportwirtschaft insgesamt, wo sich die miteinander konkurrierenden Unternehmen bei punktuellen Formen der Zusammenarbeit zum Schutz ihrer vertraulichen Kunden- und Prozeßdaten nur ungern in die Karten schauen lassen.

Wie geht nun die Informatik mit den individuellen Wissensbeständen, den "praktischen Heuristiken" und den persönlichen "Stilen" um, mit denen Disponenten und Lkw-Fahrer ihre Arbeitsaufgaben zu bewältigen versuchen? Zunächst soll gezeigt werden, auf welche Weise konventionelle computergestützte Systeme in Speditionen das Erfahrungswissen der Disponenten und Lkw-Fahrer durch die Verwendung von Optimierungsmethoden des Operations Research "abwerten" und inwieweit die Versuche, die Transportdisposition mittels theoretischer Logik in den Griff zu kriegen, auf praktische Realisierungsgrenzen stoßen.

4. Operations Research oder die praktischen Grenzen der Rationalisierung der Transportdisposition

Probleme des Fuhrparkeinsatzes und der Tourenplanung gehören zu den ältesten im Operations Research (OR) behandelten Problemstellungen (vgl. im folgenden Hummeltenberg 1994). Tourenplanungsprobleme werden üblicherweise durch Graphen beschrieben, wobei die Depots, Abhol- oder Anlieferungs- punkte jeweils durch Knoten, die geographischen und zeitlichen Distanzen durch Kanten repräsentiert werden. Einfache *Rundreise-Probleme* (z. B. das *Traveling-Salesman-Problem*), bei dem von einem Knoten (Depot) aus gestartet wird, um in einer optimalen Reihenfolge alle zu bedienenden Knoten (Kunden) anzufahren und dann wieder zum Startpunkt zurückzukehren, lassen sich von komplexeren Tourenplanungsproblemen unterscheiden, wie z.B. das *Pickup-and-Delivery-Problem* (mit und ohne zeitliche Restriktionen), bei dem jedem Knoten zusätzlich bestimmte Abhol- und Liefermengen zugeordnet werden, wobei die Standzeiten der Fahrzeuge und der für jede Lieferung bestimmte Start- und Zielort berücksichtigt werden muß. Darüber hinaus müssen in der Speditionspraxis weitere fahrzeug- und umschlagtechnische, personelle und organisatorische Rahmenbedingungen mit in die Planung einbezogen werden.

Konventionelle computergestützte Tourenplanungs- und -steuerungssysteme lassen sich bezüglich ihrer Funktionalität grob nach zwei Generationen unterscheiden, je nachdem, ob es sich (1) um eine Batch-Verarbeitung oder (2) um eine dialogorientierte Verarbeitung handelt.

(1) Bei den Tourenplanungs- und -steuerungssystemen der ersten Generation erfolgt die Tourenplanung im Batch-Betrieb (automatische Stapelverarbeitung), ohne Eingriffsmöglichkeiten der Benutzer. Die Optimierungsstrategie verfolgt vor allem Kapazitäts- und Kostenziele (Minimierung der Fahrzeuganzahl und Wegelänge). Batch-Systeme zielen auf eine automatische Problemlösung durch den Einsatz von OR-Verfahren, die eine vollständige Abbildung des realen Problems durch das mathematische Modell bzw. durch die Algorithmen des Computerprogramms erfordern. Je stärker sich die Problemdefinition an realitätsnahen Anforderungen orientiert, desto aufwendiger müssen die Optimierungsalgorithmen gestaltet werden, um der Komplexität der zahlreichen praktischen Restriktionen zu genügen. Optimierungsalgorithmen führen hierbei aber angesichts der Komplexität der Problemstellung nur selten zu befriedigenden

Lösungen, weshalb man auf heuristische Verfahren ausweicht, die sich mit suboptimalen Lösungen zufriedengeben. Die entscheidenden Schwächen der Batch-Systeme liegen in der mangelnden Praxisreferenz. Das zugrundeliegende Ziel der Kostenminimierung bei vorgegebenen Kapazitäten, Liefermengen und Zeitfenstern deckt die Planungssituation nur unvollständig ab und die Erfahrungen der Disponenten werden in den automatisch erstellten Tourenplänen nicht berücksichtigt, weshalb die vorgeschlagenen Touren in der Praxis häufig von den Disponenten auch nicht akzeptiert werden.

(2) In der zweiten Generation zielen die Tourenplanungs- und -steuerungssysteme nicht mehr auf eine Substitution, sondern nur noch auf eine technische Unterstützung der Entscheidungen der Disponenten (*Decision Support Systems*). Die durch die implementierten OR-Verfahren ermittelten Lösungen werden dem Disponenten lediglich als Vorschläge angeboten, die endgültige Entscheidung ebenso wie die Verantwortlichkeit für deren Qualität liegt allein beim Disponenten. Die Dialog-Systeme sind modular aufgebaut, entlasten die Disponenten von einfachen Routineaufgaben (z.B. Sortier- und Rechenfunktionen) und gestatten den Benutzern einen interaktiven Eingriff in die Tourenplanung (vgl. z.B. das Programm "INTERTOUR - Interaktive Tourenplanung" vom Planungsbüro Transport und Verkehr GmbH, Karlsruhe). Die Vorteile der Dialog-Systeme liegen darin, daß ihre Optimierungsalgorithmen relativ einfach gehalten werden können, da der Disponent die Lösungsvorschläge kontrollieren kann, in kritischen Fällen eingreift und auf eine flexible Weise Änderungen vornehmen kann. Durch die Entlastung von Routinetätigkeiten kann er sich auf den eigentlichen Dispositionsprozeß und auf die Revision der Pläne konzentrieren. An der klassischen Arbeitsteilung zwischen Disponenten und Lkw-Fahrern ändert sich jedoch grundsätzlich nichts. Der "Dialog" beschränkt sich auf die Interaktion zwischen einem Disponenten und dem Computer, der die sequentielle Erzeugung von Transportplänen unterstützt, die dann von den Fahrern in der angewiesenen Reihenfolge ausgeführt werden müssen. Treten Störungen auf, ist eine komplette sequentielle Neuplanung erforderlich.

Was beiden Generationen konventioneller Tourenplanungssysteme fehlt, sind wissensbasierte Komponenten wie sie z.B. bei der Expertensystemtechnologie eingesetzt werden. Das Planungswissen, das in den Modellen der herkömmlichen Systeme repräsentiert wird, bildet nur einen Teil der planungsrelevanten Zusammenhänge ab, die für eine effektive und effiziente Tourenplanung berücksichtigt werden müssen. Für die Entwicklung einer dritten Generation computergestützter Planungssysteme wird deshalb die Einführung von wis-

sensbasierten Komponenten in Tourenplanungssysteme erwartet, mit deren Hilfe "Wissenselemente und Erfahrungen des Disponenten in das System eingebracht werden, die in konventionellen Systemen nicht adäquat repräsentiert und effizient verarbeitet werden können, weil sie nicht durch knappe, mit vertretbarem Aufwand lösbare mathematische Modelle beschreibbar sind" (Hummeltenberg 1994, S. 431).

Der Anwendung der mathematischen Planungsverfahren des Operations Research sind somit recht enge praktische Grenzen gesetzt (vgl. im folgenden Wöhe 1976, S.141f.). Zunächst hängt die Anwendbarkeit von OR-Verfahren davon ab, ob die notwendigen Daten überhaupt verfügbar oder zu beschaffen sind, ob sie quantifizierbar und meßbar sind sowie einer streng kausalen Beziehung zwischen den einzelnen Variablen unterliegen. Entscheidungsrelevante Daten sind aber rechtzeitig *vor* dem Planungsbeginn meistens nicht zu beschaffen, oder sie sind für mathematische Modelle ungeeignet (welcher tatsächliche Gewinn oder Verlust ist z.B. mit einer alternativen Tourenauführung verbunden, die im Laufe des Tages mehrmals ad-hoc umgeplant werden muß oder durch die ein guter Kunde möglicherweise verprellt werden könnte?). Mangels eindeutiger, strenger Kausalitäten scheiden damit "diejenigen betriebswirtschaftlichen Probleme, die durch ein Vorherrschen menschlicher Entscheidungsfreiheit gekennzeichnet sind, größtenteils aus dem Forschungsgebiet des Operations Research aus" (ebd., S. 142). Betriebliche Vorgänge, die sich nur in starker Vereinfachung mathematisch modellieren lassen, werden durch OR-Verfahren entweder als unwesentliche Faktoren ausgeblendet oder als konstant angenommen. Bei Modellen, die mit nicht-linearen Abhängigkeiten rechnen müssen, lassen sich ohnehin keine eindeutig "optimalen" Ergebnisse erzielen, die den Kriterien für Exaktheit und Zuverlässigkeit genügen. Das zentrale ökonomische Kriterium der "Wirtschaftlichkeit", an dem sich die Verwendung von Methoden des Operations Research orientiert, ist nicht immer eindeutig bestimmbar, weil die erzielten Ersparnisse im Vergleich zu den entstehenden Kosten im Einzelfall variieren und üblicherweise nur geschätzt werden können. Aus soziologischer Sicht kann es ohnehin keine zeitlos gültigen Kriterien für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit geben, weil jede Definition ökonomischer Rationalität sozial konstruiert und somit historisch-kulturell variabel ist, und je nach den dabei wirksamen ökonomischen Interessen selbst zu einem

Gegenstand von symbolischen Auseinandersetzungen werden kann. Bestehende Planungssysteme sind "selten imstande, den kognitiven Stilen ihrer Benutzer Rechnung zu tragen, so daß sich ein besonderer Erklärungsbedarf ergibt. Computergestützte Systeme der Tourenplanung und -steuerung haben deshalb in der Vergangenheit in der Praxis nur eine bedingte Akzeptanz gefunden" (Hummeltenberg 1994, S. 436).

Die formale Beschreibung der Problemstellung ist eine entscheidende Voraussetzung für eine computergestützte Lösung von Transportproblemen (vgl. im folgenden auch Gabriel 1994, S. 452ff.). Neben der Berechenbarkeit der formalen Modelle ist für realweltliche Applikationen aber immer auch die Qualität und Güte der Modellierung als Bewertungsmaßstab zu berücksichtigen, d.h. inwieweit das entwickelte Modell in der Lage ist, das in der Praxis gegebene Problem adäquat zu repräsentieren. Handelt es sich um einfache und leicht meßbare Problemstellungen (z.B. Transportentfernungen, -mengen und -kosten) ist es nicht weiter schwierig, ein gut strukturiertes, deterministisches Modell für die Problemlösung zu entwerfen und die als Reihenfolge- und Zuordnungsproblem definierte Aufgabe algorithmisch exakt zu lösen. Mit zunehmender Anzahl der zu berücksichtigenden Lieferpunkte und bei der Berücksichtigung einer Vielzahl restriktiver Bedingungen (z.B. Zeitfenster, Teilladungen etc.) wird die Problemlösung allerdings derart komplex, daß konventionelle OR-Verfahren bei der Suche nach optimalen Lösungen entweder unzumutbar lange Programmlaufzeiten benötigen oder gar kein Optimum mehr berechnen können.

Hinzu kommt, daß die in der Praxis auftretenden Transportprobleme üblicherweise durch zusätzliche *qualitative* Eigenschaften und Anforderungen gekennzeichnet sind, die sich nur schwer quantifizieren lassen (z.B. die Beschaffenheit der Transportgüter und Transportmittel, die Einsatzplanung und spezifische Qualifikation der Fahrer für bestimmte Transporttypen und zusätzliche Servicetätigkeiten). Nicht alle logischen Bedingungen lassen sich ohne Schwierigkeiten in einem mathematisches Modell abbilden und das verfügbare Datenmaterial ist stochastisch oder zu ungenau. Die entwickelten mathematischen Modelle sind dann wegen ihrer großen Anzahl von Entscheidungsvariablen, Nebenbedingungen und zum Teil konkurrierenden (oder sogar konfligierenden) Zielsetzungen unbrauchbar oder nicht mehr lösbar. Das Fazit ist somit, daß die

hohe Abstraktion von der Problemrealität zu nicht mehr einsetzbaren Modellen führen kann und daß die herkömmlichen Lösungsansätze nur in Ausnahmefällen in der Praxis eingesetzt werden, weil die bekannten (konventionellen) Modelle und Methoden des Operations Research bei vielen praktischen Transportproblemen schlichtweg versagen (vgl. Gabriel 1994, S. 453).

Vor diesem Hintergrund ist es kein Wunder, daß die Tourenplanung und die Einsatzplanung für Transportmittel und Personal in der Speditionspraxis häufig von Disponenten durchgeführt wird, die sich vor allem durch ein hohes Erfahrungswissen sowie durch ein ausgeprägtes Organisations- und Improvisationstalent auszeichnen. Welchem groben Anforderungsprofil computergestützte Dispositionshilfsmittel in der Transportplanung von Speditionsunternehmen entsprechen müssen, läßt sich im Anschluß an Gabriel (vgl. 1994, S. 453) skizzieren. Danach wird in einem sequentiellen Planungsprozeß auf der Grundlage der gegebenen Transportaufträge zunächst ein grober Tourenplan erstellt (Rahmenplan), der sich an den (meist im Verlauf einer langjährigen Dispositionspraxis bewährten) Prioritäten orientiert. Unter Berücksichtigung weiterer Bedingungen und Vorgaben wird dann schrittweise ein Feinplan ausgearbeitet (Tourendisposition), der aber flexibel gestaltet sein muß, um jederzeit Abänderungen zu ermöglichen, die z.B. aufgrund von Eil- oder Sonderaufträgen oder wegen akuten Störungen des Transportablaufs häufig vorgenommen werden müssen. Im wesentlichen orientiert sich der Disponent an wirtschaftlichen Kriterien, wobei er versucht, Transporte mit hoher Gewinnerwartung (oder die Aufträge wichtiger Kunden)⁵ vorrangig zu berücksichtigen. "Da eine effektive Planung einen hohen Wissensstand beim Disponenten voraussetzt, versprechen

⁵ Die formale Wirtschaftlichkeit eines Transportes, die sich durch die Minimierung von Kosten und die Maximierung des Auslastungsgrades messen läßt, ist lediglich ein "grundsätzlich" geltendes Bewertungskriterium, daß immer dann verletzt wird, wenn es um langfristige Gewinnerwartungen, um die Bindung wichtiger Kunden, um erhöhte Flexibilität und Schnelligkeit oder um zusätzliche Serviceleistungen geht, die sich einer zu eng gesteckten Wirtschaftlichkeitsrechnung entziehen. Der Vorteil von wissensbasierten Systemen liegt darin, daß sie durch Expertenrating eine indirekte Quantifizierung sogenannter "weicher Fakten" (in Form von Rangordnungen oder Schätzwerten) über den engen Geltungsbereich der "harten" intervallskalierten Daten (Entfernung, Menge, Geldpreis) hinaus ermöglichen. Die konventionellen Verfahren des Operations Research erhalten somit durch wissensbasierte Erweiterungen "eine neue Dimension, da hier die Berücksichtigung von unsicheren, ungenauen bzw. unvollständigen Informationen gefordert wird" (Gabriel 1994, S. 457).

wissensbasierte Systeme eine hervorragenden Unterstützung für den Planer zur erfolgreichen Realisierung der Transportaufgaben in der Praxis" (Gabriel 1994, S. 453). Und nicht nur für den Planer in der Dispositionszentrale - wie hinzuzufügen ist, sondern auch für die lokale, transportbegleitende Feindisposition der Lkw-Fahrer, die eine vorgegebene Touren- und Routenplanung bei unvorhersehbaren Störungen des Transportablaufes ad-hoc und dynamisch an die neue Situation anpassen müssen. Die "Disposition" läßt sich deshalb in der Spediti- onspraxis nicht in einem streng tayloristischen Sinne von der "Ausführung" trennen, da sie ein kooperativer Prozeß ist, bei dem die Realisierbarkeit und Leistungsfähigkeit der Planung, Disposition und Steuerung der Transporte von einer konstruktiven Zusammenarbeit zwischen Disponenten und Fahrern ab- hängig ist (vgl. Florian 1994, S. 76ff.).

Die Berücksichtigung von unsicheren und ungenauen, von stochastischen oder sogar vagen Informationen ist damit eine der zentralen Praxisanforderun- gen, der sich die wissensbasierte Modellierung der Transportdomäne stellen muß. Eine zweite grundlegende Forderung liegt darin, die Transportdisposition als einen kooperativen und dynamischen Prozeß zu modellieren. Nun wissen wir inzwischen, daß die vielgehegten Ansprüche und Hoffnungen an die Leis- tungspotentiale wissensbasierter Systeme zumindest von herkömmlichen Ex- pertensystemen in der Anwendungspraxis nur selten eingelöst worden sind (vgl. z.B. Malsch et al. 1993). Wie geht die *Verteilte Künstliche Intelligenz* mit praktischen Anforderungen um und welche Anforderungen werden in der VKI überhaupt als solche (an-)erkannt? Und auf welche Weise gelingt es der Ver- teilten KI, die praktischen Bedingungen der Transportdomäne mit ihren Multi- agentensystemen besser als konventionelle computergestützte Planungs- und Dispositionssysteme zu erfüllen?

Die beschriebene Spezifik der in der Lkw-Disposition geforderten Tätigkei- ten läßt zunächst vermuten, daß die Voraussetzungen für den Einsatz Verteilter KI im Vergleich zu konventionellen EDV-Systemen sehr günstig sind. Die flexible Architektur von Multiagentensystemen, die für jede Teilaufgabe eine eigene, weitgehend autonom operierende Einheit (als "Agenten") generiert, erscheint grundsätzlich besser dafür geeignet, einen größeren Teil des gesamten Aufgabenbereichs der Disposition abzudecken als herkömmliche EDV- Systeme, die üblicherweise als "Insellösungen" auf separaten Rechnern laufen

und die, wenn überhaupt, dann nur unter einem extrem hohen Arbeits- und Zeitaufwand die vielfältigen Einzelaspekte an zentraler Stelle zu einer globalen Lösung zusammenführen können. Auch bei der Frage der aufgabenangemessenen Gestaltung der Arbeitsinhalte und -abläufe ist die Verteilte KI die bessere Wahl, weil sie dem Anwender durch intelligente "Assistenten" und "Benutzer-Agenten" geeignetere Werkzeuge für die individuelle Gestaltung des Human-Computer-Interfaces zur Verfügung stellt. Was die ingenieurtechnische Leistungsfähigkeit der VKI betrifft, stehen die Chancen relativ gut, die Defizite der konventionellen EDV-Unterstützung zu überwinden und leistungsfähigere Anwendungsprogramme für die Lkw-Disposition zu entwickeln. Wie aber steht es mit den Chancen einer vom Anspruch her "starken" VKI (vgl. Florian 1998)? Lassen sich die Ambitionen der Verteilten Künstlichen Intelligenz ebenfalls einlösen, Multiagentensysteme zu entwickeln, die ihre Leistungsfähigkeit einer Simulation in Analogie zur Dispositionspraxis in Speditionen und Transportunternehmen verdanken? Am Beispiel einer Modellierung der Transportdomäne durch das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) möchte ich im folgenden skizzieren, welche Vorteile eine realitätsnahe Vorgehensweise der VKI bietet, aber auch, wo die Grenzen einer an der Analogie zur menschlichen Gesellschaft orientierten Modellierung des Sozialen liegen.

5. Multiagentensysteme für die Modellierung und Simulation der Transportdomäne

Die Transportdisposition im Güterverkehr, insbesondere die Planung der Auslastung der Transportkapazitäten durch die Feinabstimmung von Fahrplänen und Touren, erfolgt unter einem hohen Grad an Komplexität und Dynamik, an Unsicherheit und Unvollständigkeit der vorab und jeweils situativ verfügbaren Informationen. Es "ist generell sehr schwierig, das Verhalten komplexer dezentralisierter Systeme bezüglich umfangreicher Aufgaben zu bewerten und einen Maßstab für die Güte der Problemlösung zu finden. Dies liegt zum einen daran, daß es de facto nicht möglich ist, in akzeptabler Zeit für diese Probleme Optimallösungen zu berechnen, an denen man die Qualität der Ergebnisse messen könnte. Zum anderen ist das Verhalten eines asynchronen dynamischen Systems sehr schwierig darstellbar und beschreibbar. Für einen menschlichen

Betrachter ist es schier unmöglich, eine von 3 Speditionen mit je 20 Lkw gefundene Lösung eines Transportproblems mit 400 Aufträgen auch nur annähernd zu verstehen. Ein weiteres Problem liegt in der Erfassung und der realistischen Modellierung der lokalen Entscheidungskriterien der Agenten, die sicherlich wichtige Voraussetzung für ein sinnvolles Systemverhalten sind" (Fischer u.a. 1993a, S. 40).

Die menschlichen Disponenten in den Transportunternehmen verfügen jedoch meistens über genügend Erfahrungswissen, um Transportplanungsprobleme mit hinreichender Genauigkeit zu bearbeiten und auch ohne EDV-Unterstützung zu einem zufriedenstellenden Resultat zu gelangen, für das die "maschinelle" Intelligenz einen extrem hohen Konstruktions- und Rechenaufwand betreiben muß.⁶ Gleichwohl scheint die Transportdomäne ein besonders gut geeignetes Problemfeld zu sein, um die Leistungsfähigkeit eines Systems kooperierender Agenten unter harten praktischen Bedingungen zu testen und gegenüber den konkurrierenden Ansätzen der konventionellen EDV-gestützten Dispositionshilfsmittel unter Beweis zu stellen. Warum das so ist, soll im folgenden unter Bezugnahme auf einschlägige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) nachvollzogen werden.

Am DFKI wurde 1991 mit der Erforschung und Entwicklung von Multiagentensystemen (MAS) begonnen. Die Forschungsarbeiten am DFKI haben dabei vor allem Fragestellungen verfolgt, "wie sich Probleme auf verschiedene Komponenten (Agenten) aufteilen lassen (Organisation), wie diese Agenten zusammen an der Lösung mitwirken können (Interaktion/Kommunikation) und mit welchen Fähigkeiten und Wissen einzelne Agenten ausgestattet sein müs-

⁶ So zeigen die Benchmark-Ergebnisse des hier vorgestellten Multiagentensystems MARS, daß die Leistungsdaten nach ausgewählten praktischen Maßstäben (z.B. Auslastungsgrad der Lkw) ungefähr den Durchschnittswerten entsprechen, die menschliche Disponenten erbringen (vgl. z.B. Fischer u.a. 1993a, S. 39). Es ist wohl eines der noch ungelösten Geheimnisse, warum erfahrene Disponenten die durch die Verteilte Künstliche Intelligenz gefundenen Lösungen nicht einmal "auch nur annähernd zu verstehen" brauchen, um dennoch zu brauchbaren Resultaten zu gelangen, die vielleicht sogar noch mit der Berücksichtigung von schwer kalkulierbaren Nebenbedingungen (z.B. strategische Positionierung im Logistik- und Transportmarkt, Sonderwünsche von Kunden, erhöhte Servicequalität, komplexe qualitative Kostenmodelle etc.) besser fertig werden.

sen, um die Lösungsfindung vorantreiben zu können (interne Strukturen)" (Schier & Fischer 1996, S. 5).

Die am DFKI entwickelten Multiagentensysteme sind mit Hilfe von VKI-Methoden konstruierte Prototypen, die sich mit einem grundlegenden Teilaspekt der umfassenden Planungs- und Dispositionsaufgaben in Speditionen und Transportunternehmen befassen, und zwar mit dem Management der Transportkapazitäten, d.h. vor allem mit der Touren- und Routenplanung des Fuhrparks. Allein dieses *scheduling and routing problem* aber hat es bereits in sich, vor allem was die Komplexität und Dynamik des Planungsprozesses betrifft und was die notwendige Berücksichtigung von lokalen und unvollständigen Wissensbeständen angeht, wenn einzelne Transportunternehmen für sich alleine oder in Kooperation eine ökonomisch zufriedenstellende Auslastung ihrer Fahrzeugflotte und eine Minimierung der von den einzelnen Lastwagen zurückgelegten Distanzen zu erreichen suchen. Was die Transportdomäne somit für die Verteilte KI besonders interessant und zu einem beliebten Referenzszenario macht, ist, daß es hierbei keine vorab feststehende, kohärente globale Sichtweise oder formale Rationalität geben kann, die mittels mathematischer Modelle nach den Optimierungsmethoden des Operations Research als ein *one best way* definierbar wäre oder die sich aus der Durchsuchung eines geschlossenen Problemlösungsraums inkrementell ableiten ließe. Die Transportdomäne ist somit ein Anwendungsfeld, in dem ein zentralistischer Ansatz unangemessen erscheint wegen der extrem hohen Komplexität der Problemstellung, wegen der dem Anwendungsfeld bereits innewohnenden sozialen Verteiltheit des Wissens und wegen der durch lokale Einheiten (Lkw-Agenten) zu leistenden dezentralen Gewährleistungsfunktionen.⁷

Bis heute lassen sich am DFKI drei Generationen von MAS identifizieren, die sich alle mit der Transportdisposition befassen, die dabei aber im Detail weiterentwickelt worden sind:

⁷ Die Transportdomäne eignet sich damit besonders gut für das von Hewitt (1991) definierte Problemfeld der *large scale open systems*, in denen wegen fehlender globaler Perspektive auf eine soziale Koordination lokaler Wissensgenerierung zurückgegriffen werden muß.

- **MARS (Modeling a Multi-Agent Scenario for Shipping Companies)**

Im Rahmen des BMFT-Projektes "Modellierung autonomer kooperierender Agenten (AKA-Mod)" wurde 1992 am DFKI der erste Prototyp eines Multiagentensystems zur Modellierung der Transportdomäne implementiert (vgl. Fischer et al. 1993a), der die Grundlage für die Entwicklung des MARS-Speditionsszenarios bildete. Mit dem MARS-Szenario wurde das Ziel verfolgt, ein Multiagentensystem für die Simulation kooperierender Transportunternehmen zu entwickeln, mit dem sich eine bestimmte Klasse von *Fleet-Scheduling-Problemen* in der Tourenplanung (nämlich die zeitliche Planung der Fahrpläne und die räumliche Planung der Transportrouten) mit Hilfe von VKI-Methoden lösen läßt. Zu diesem Zweck wurde im Szenario eine Gruppe von Transportunternehmen implementiert, die unter zeitlichen und kostenbezogenen Restriktionen dynamisch erteilte Aufträge ausführen sollte. Sobald die Komplexität der eingehenden Aufträge die Kapazitäten eines einzelnen Unternehmens überstieg, wurde eine Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen erforderlich. Damit die Transportaufträge mit den verfügbaren Transportmitteln möglichst kostengünstig ausgeführt werden konnten, mußten die Speditionsunternehmen deshalb in der Simulation miteinander kooperieren. Das MARS-System wurde anwendungsnah implementiert, unter Konsultation von verschiedenen Speditionen und Logistikabteilungen (vgl. Müller & Wittig 1993, Fischer & Kuhn 1993, Fischer et al. 1993a/b, Fischer et al. 1995, Müller & Pischel 1993a/b).

- **MAS-MARS**

Das MAS-MARS ist eine Neuimplementierung des MARS-Systems, das vor allem in drei Punkten gegenüber dem ursprünglichen Multiagentensystem weiterentwickelt worden ist. Erstens wurde das Simulationsszenario zu einem interaktiven On-Line System für die rechnergestützte Disposition im Speditionsgewerbe ausgebaut, das im Rahmen des Ressourcenmanagements Routineaufgaben übernimmt und Dispositionsvorschläge unterbreitet (vgl. <http://www.dfki.uni-sb.de/pas/f2w.cgi?dmass/mars-g>). Zweitens wurde die Problemdefinition vom dynamischen *Vehicle-Routing-Problem* auf das komplexere *Pick-up-and-Delivery-Problem* ausgeweitet, bei dem die Transportaufträge nicht mehr nur von einem Depot zu verschiedenen Punkten hin, sondern zwischen beliebigen Punkten geplant und ausgeführt werden müssen unter Berücksichtigung der zeitlichen Restriktionen der dabei anfallenden Ladevorgänge (*pick-ups*). Drittens wurde eine neuartige Programmierplattform für die Konzipierung von Multiagentensystemen verwendet. Hierfür kam die am DFKI neu entwickelte Hochsprache "Oz" zum Einsatz, die für nebenläufige Berechnungen und constraint-logische Variablen entwor-

fen worden ist, um herkömmliche Programmiersprachen wie Lisp, Prolog oder Smalltalk zu ersetzen, denen Aspekte der Nebenläufigkeit, Reaktionsfähigkeit oder Echtzeitkontrolle fehlen (vgl. Schier & Fischer 1996, S. 31 und 45).

- **TELETRUCK**

Das TELETRUCK-System schließlich ist eine erweiterte Re-Implementierung des MAS-MARS, die sich durch folgende Features unterscheidet (vgl. Bürckert, Fischer & Vierke 1997). Zunächst ist das TELETRUCK-Multiagentensystem kein reiner Forschungsprototyp mehr, sondern als ein Anwendungsprototyp in enger Zusammenarbeit mit einem Speditionsunternehmen entwickelt worden. Anstelle von vergleichsweise abstrakten Dispositionsaufgaben, bei denen eine nur wenig konkretisierte Kostenmessung erfolgt und bei denen die Transportagenten (Lkw) undifferenziert als homogene Einheiten repräsentiert werden können, können von TELETRUCK realistische Transportaufträge unter Nutzung heterogener Fahrzeugagenten einplant werden, die jeweils unterschiedliche Fahrzeugarten und Realisierungsbedingungen modellieren. TELETRUCK ist ein "holonisches" Fuhrpark-Management-System, dessen Leitidee darin besteht, daß die Transportagenten *holonic agents* darstellen, die sich - jeweils flexibel rekombinierbar - aus Sub-Agenten zusammensetzen, die jene vier grundlegenden physikalischen Bedingungen repräsentieren, die für die Planung und Ausführung der Transportaufträge von entscheidender Bedeutung sind: Laderaum, Art des Fahrgestells, Motorkomponente und Fahrzeit der Lkw-Fahrer.

Trotz feiner Unterschiede im Detail, weisen alle drei MAS-Generationen gemeinsame (arbeits-)organisatorische Grundstrukturen auf. Das Besondere am MAS-Ansatz des DFKI ist, daß die Speditionen und Transportfirmen in dem Szenario selbst keine Möglichkeiten haben, Transportaufträge eigenständig "zentralistisch" durchzuplanen, denn die Lkw verfügen über lokale Pläne, und die eigentliche Lösung des globalen Planungsproblems muß erst aus der lokalen Entscheidungsfindung der Agenten "emergieren" (vgl. im folgenden Fischer et al. 1995 bzw. 1996). Dadurch können auch sehr komplexe Tourenpläne durch zahlreiche kleinere und einfachere Pläne ersetzt werden, die eine schnelle Reaktion auf unvorhersehbare Ereignisse (wie z.B. Verkehrsstaus oder neu eintreffende Transportaufträge) ermöglichen, ohne einen erneuten globalen Planungsprozeß durchlaufen zu müssen. Konventionelle Scheduler können für

eine eingegebene Auftragsliste immer nur eine statische Ausgabe (Tourenplan) liefern, mit der Folge, daß bei jeder Änderung der Auftragslage (z.B. durch Staumeldungen, Belieferungsprobleme oder Aufträge eines neuen Kunden) alle bis dahin geplanten Touren verworfen und neu eingeplant werden müssen (vgl. Schier & Fischer 1996, S. 6). Die Multiagentensysteme des DFKI ermöglichen es dagegen, "an bestehenden Plänen festzuhalten und diese, soweit es Zeitrestriktionen und Ladekapazitäten zulassen, zu modifizieren. Es können prinzipiell sogar Kunden zwischen einzelnen Fahrzeugen während der Ausführung des Tourplans ausgetauscht werden, um so die Gesamtqualität erheblich zu verbessern und letztendlich aus betriebswirtschaftlicher Sicht Kosten zu minimieren" (ebd.).

Im wesentlichen sind es drei Gründe, warum die Transportdomäne ein geeignetes Einsatzfeld für die Verteilte KI ist. Wegen der Komplexität und der Dynamik des Planungsprozesses handelt es sich beim Scheduling Problem bereits um eine verteilte Problemstellung, für deren Lösung eine Verwendung von Alltagswissen notwendig ist. "*Local knowledge about the capabilities of the transportation company as well as knowledge about competitive (and maybe cooperative) companies massively influences the solutions*" (Fischer et al. 1995/1996, S. 1). Da wegen der Komplexität eine globale Sichtweise nicht möglich ist und weil das vorhandene Wissen meist zentral nicht verfügbar ist ("real-life companies are not willing to share *all* their local information with other companies"), muß die Problemlösung mit unvollständigem Wissen aus einer lokalen Perspektive heraus entwickelt werden. Dabei wurde am DFKI ein VKI-Ansatz gewählt, der eine flexibel kombinierbare Modellierung von Agententypen und sozialen Kooperationsformen erlaubt.

- **Agententypen**

Für das ursprüngliche MAS-Szenario (MARS) wurden drei Agententypen konstruiert, denen jeweils unterschiedliche Spezialaufgaben bei der Problemlösung zufielen (vgl. im folgenden Müller & Wittig 1993, S. 275ff.). Die Aufgabe der *Speditonsagenten* liegt in der Verhandlungsführung mit den Benutzern, Makleragenten und den anderen Speditonsagenten kooperierender Firmen. Sie müssen verschiedene Kommunikations- und Kooperationsmechanismen für unterschiedliche Agentenklassen beherrschen und planen die Auftragsbearbeitung auf Speditionsebene. Die Speditonsagenten haben die Entscheidungs-

kompetenz über die Verteilung der Aufträge auf ihre Lkw. Weil im DFKI-Ansatz die transportierenden Ressourcen (Lkw) ebenfalls als Agenten modelliert sind, müssen die Speditionsagenten mit diesen kommunizieren können, um deren Ausführungsverhalten zu koordinieren. Die *Lkw-Agenten* sind ein eigener Typus autonomer Agenten, der auf die Wegeplanung und Zusammenstellung der Ladungen spezialisiert ist. Den Lkw-Agenten obliegt nicht nur die zeitabhängige Ausführung der Fahrten, sondern auch die dezentrale Entscheidung, ob sie bei einer Auslastung des Rücktransportes durch Partnerspeditionen Rückfrage bei ihrer Firma nehmen sollen, oder nicht. Ein weiterer Agententypus sind die sogenannten "*systeminternen Agenten*", die für implementierungsspezifische Aufgaben zuständig sind. *Makleragenten* dienen den Benutzern des MAS als Hilfsmittel bei der Vergabe von Aufträgen an die Speditionen. Der *Weltagent* soll die Aktivitäten der Speditionen und Lkw sowie deren Folgen für die Welt repräsentieren. Über einen "World Monitor" steht dem MAS-Szenario so etwas wie eine Sendungsverfolgung zur Verfügung, die den Benutzer über den jeweiligen Status der Auftragsbearbeitung informiert.

- **Kooperationsformen**

Mit den Multiagentensystemen des DFKI werden sowohl vertikale als auch horizontale Kooperationsformen simuliert (vgl. im folgenden Müller & Wittig 1993, S. 275ff.; Schier & Fischer 1996, S. 9ff.). Die *vertikale Kooperation* bildet das Modell für die Koordination einer Spedition mit ihren Lkw. Sie wird vor allem für den Austausch von Informationen und das Beantworten von Anfragen benutzt (Frage- und-Antwort-Schema), für die kooperative Zerlegung und Verteilung von Aufgaben (*task decomposition bzw. task allocation*) und wird von den Lkw zur Meldung von schlecht ausgelasteten Fahrten an die Spedition verwendet, um horizontale Kooperationsformen für eine Verbesserung der Auslastungsquote anzustoßen. Eine "zentralisierte Multi-Agentenplanung" liegt vor, wenn ein Agent als übergeordneter "Master" einen Plan erstellt, den er an untergeordnete Agenten ("Slaves") zwecks Ausführung weitergibt. Das Standardverfahren für die Modellierung und Simulation vertikaler Kooperationsformen in MAS ist jedoch das von Davis & Smith (1983) vorgestellte "*Contract-Net-Protocol*", das zwei unterschiedliche Agentenrollen vorsieht: Der "*Manager*" zerlegt das zu lösende Problem in Teilprobleme, delegiert diese dann an (Vertrags-)Lieferanten ("contractor") bzw. Bieter ("bidder") und kontrolliert die Planausführung; der "*Bieter*" führt eine Teilaufgabe aus, wobei er selbst zum "Manager" werden kann, um die ihm zugewiesene Teilaufgabe in weitere Teilprobleme zu zerlegen und an andere "Bieter" zu delegieren. Das Contract-Net wird in der VKI als Standardmodell für eine soziale koordinierte Zerlegung und Verteilung von Aufgaben genutzt zwischen Agenten, die in

einer hierarchischen Beziehung stehend miteinander kooperieren. Eine *horizontale Kooperation* findet zwischen autonomen Agenten statt, die sich in keinem hierarchischen Abhängigkeitsverhältnis zueinander befinden. Dies gilt z.B. für die Zusammenarbeit zwischen dem Kunden und einer Spedition, jeweils für die Speditions- und Lkw-Agenten untereinander sowie zwischen einer Spedition und dem Lkw einer anderen Spedition. Gemeinsame Aktionen benötigen hierbei das Einverständnis aller Beteiligten, wobei der Mechanismus der *Verhandlung* bei den MAS des DFKI dafür eingesetzt wird, um eine Übereinkunft zwischen den autonomen Agenten zu erzielen.

Die bislang verfügbaren Benchmarks zur Leistungsbewertung der am DFKI entwickelten Prototypen zeigen zweierlei. Erstens wird deutlich, daß eine radikal dezentralisierte Problemlösungsstrategie nicht in allen Fällen (z.B. bei geschlossenen Problemstellungen) gegenüber der Befehl-Gehorsam- bzw. Planungs-Ausführungs-Hierarchie die besseren Lösungen erbringt. Zweitens wird aber offensichtlich, daß die Problemlösungsergebnisse der am DFKI entwickelten Multiagentensysteme vor allem bei der Lösung offener und dynamischer Transportplanungsprobleme den konventionellen Verfahren deutlich überlegen sind und selbst im Vergleich zu den aus der Literatur bekannten "optimalen" Referenzlösungen noch sehr gute Ergebnisse liefern, die bei kleinen Auftragsmengen noch "müheless auf (fast) optimalen Lösungen abgebildet werden" konnten (vgl. z.B. Schier & Fischer 1996, S. 46ff.).

Wieso ist die soziale Organisation des Problemlösungsprozesses durch MAS einer "optimalen" Vorgehensweise ebenbürtig und bei komplexen und dynamischen Problemstellungen sogar überlegen? Worin liegen die Anwendbarkeitsgrenzen herkömmlicher Verfahren und auf welche Weise gelingt es Multiagentensystemen, diese Grenzen zu überschreiten?

6. Soziologische Defizite und soziotechnische Entwicklungsperspektiven der Multiagenten-Technologie in der Transportdisposition

Die Planung und Disposition von Transportabläufen wird von herkömmlichen Optimierungsverfahren des Operations Research als ein rein logisches Problem konstruiert, dessen Lösung mathematisch modellierbar und informationstechnisch algorithmisierbar ist - unter Ausblendung all jener praktischen Bewer-

tungskriterien, die sich nicht ohne weiteres der formalen Logik betriebswirtschaftlicher Kostenrechnung unterordnen lassen. Für das Operations Research ist es daher völlig unerheblich, ob das aufgegebene Touren- und Routenplanungsproblem *im wirklichen Arbeitsleben* mit der Rundreise eines leibhaftigen Handlungsreisenden, mit der eines Briefträgers, Zirkuswagens oder Lkw-Fahrers korrespondiert. Für die mathematische Lösung ist es unwichtig, *was* ein Lkw transportiert, welche berufliche Sonderqualifikation ein Fahrer für die Beförderung spezieller Güter besitzt, ob er als *owner operator* (schein-)selbständig operiert oder angestellte Erwerbsarbeit verrichtet und welche betriebliche Organisationsform innerhalb des Speditionsunternehmens institutionalisiert ist. Mathematische Planungsverfahren, die im Sinne eines *one best way* auf der Suche nach der optimalen Lösung sind, *müssen* geradezu von allen pragmatischen Verunreinigungen der Problemdefinition absehen, um eine allgemeingültige Lösung zu produzieren. Ob diese Lösung angesichts der in der Dispositionspraxis tatsächlich geltenden Bewertungskriterien und bestehenden Zielkonflikte aber überhaupt *praktikabel* ist, muß die theoretische Logik mathematischer Modelle nicht weiter interessieren; denn das bleibt der Verantwortung und Entscheidung menschlicher Disponenten vorbehalten.

Die Funktionsweise von Multiagenten-Systemen folgt - wie jedes informationstechnische Programm, das auf einem Computer lauffähig sein soll - ebenfalls einer mathematischen Modellierung und informationstechnischen Algorithmisierung. Was unterscheidet dann die Modellbildung und Simulation der Verteilten KI von herkömmlichen Softwareprogrammen? Im Vergleich zu konventionellen OR-Algorithmen zielt die Modellierung von Multiagentensystemen darauf, die Dynamik und Unsicherheit der Entscheidungssituation bei der Planung und Disposition von Transportabläufen mit zu berücksichtigen und die Verarbeitung von inkonsistentem Wissen aus subjektiven Erfahrungen und tradierten Verhaltensweisen zu ermöglichen. Der kontinuierliche Verbesserungsprozeß, den MAS bei der Lösungssuche verfolgen, scheint besser an die unscharfe „Logik“ der menschlichen Dispositionspraxis angepaßt zu sein als das Optimierungsmodell, das im Operations Research verwendet wird:

- (1) Multiagentensysteme können besser mit der Entscheidungsunsicherheit und -dynamik der Transportdomäne umgehen, weil sie eine Nachbesserung der

vorläufigen Pläne erlauben, sobald sich neue Rahmenbedingungen ergeben, die ad hoc einzuplanen sind. Anstelle der zeitlosen Logik der OR-Optimierungsprozeduren berücksichtigen die MAS des DFKI in stärkerem Maße auch praktische Anforderungen an die Planung und Ausführung der Transportaufträge, die in Form von logischen *constraints* einer Algorithmisierung zugänglich gemacht werden (z.B. zeitliche und räumliche Restriktionen bei MARS; restriktive Zustände der beteiligten "physikalischen" Komponenten wie Laderaumkapazität, Arbeitszeitregeln etc. bei den holo-nischen Agenten von TELETRUCK).

- (2) Die Wissensverarbeitung und -speicherung in Multiagentensystemen beruht auf einer sozialen Differenzierung, mit der die in der Transportwirtschaft herrschende Arbeitsteilung zwischen Disponenten und Lkw-Fahrern zumindest ansatzweise technisch nachgebildet wird. MAS zeigen, auf welche Weise die Lösung komplexer und dynamischer Planungsprozesse von der *sozialen Organisation* menschlicher Arbeitssysteme lernen kann, um Komplexität zu reduzieren und Dynamik zu bewältigen. Die technische Problemlösung, die in den Multiagentensystemen des DFKI verfolgt wird, orientiert sich zumindest partielle an den in der Transportwirtschaft praktizierten Mechanismen sozialer Aufgabenteilung und Koordinierung (z.B. inner- und zwischenbetriebliche Herrschaftsformen, soziale Hierarchien, Marktmechanismen etc.), nach denen die einzelnen Teilaufgaben einer globalen Problemlösung zwischen Disponenten und Fahrern aufgeteilt und zugewiesen werden (*task decomposition & allocation, extended contract net protocol etc.*). Darüber hinaus bietet die soziale Modularisierung der Agentengesellschaften und die damit verbundene Dezentralisierung der Wissensbestände in den Multiagentensystemen des DFKI offenbar eine technische Lösung für eine höchst sensible Anforderung der Transportdomäne: die Vertraulichkeit des Wissens. Lokale Wissensbestände werden zwar bei der Lösungssuche aktiviert und dezentral in den Planungsprozeß eingebracht, sie sind zugleich aber für andere Agenten nicht ohne weiteres verfügbar. Gleichzeitig verfolgt das DFKI - entgegen der ansonsten innerhalb der Verteilten KI weit verbreiteten Dezentralisierungseuphorie - eine flexible, gestaltungsoffene Kombination hierarchischer und dezentraler Organisationsstrukturen. In Abhängigkeit von der spezifischen Aufgabenstellung bei der Zerlegung und Verteilung der Transportaufträge lassen sich beispielsweise sowohl hierarchische als auch laterale Koordinierungsformen einsetzen (vgl. z.B. die unter-

schiedlichen Koordinierungstypen „Kontraktnetz-Protokoll“ und „Verhandlungen“ oder den *representative agent* in TELETRUCK, der einen globalen Standpunkt und eine gemeinsame Zielsetzung repräsentiert). Dies erlaubt es dem MAS, mit auftretenden Zielkonflikten flexibler umzugehen (z.B. durch Verteilung von Detailaufgaben auf verschiedene Prozesse und Verhandlung der widersprüchlichen Gesichtspunkte), ohne bei der Entscheidungsfindung durch ausufernde Aushandlungsprozeduren gelähmt zu werden.

- (3) Anders als im Operations Research gebe sich Multiagentensysteme mit akzeptierbaren Lösungen zufrieden, die in Analogie zu der „praktischen Heuristik“ menschlicher Disponenten zwar nicht als einzig mögliche Lösung „optimiert“, wohl aber „praktisch schlüssig“ sind. Die „Logik der Praxis“ (vgl. im folgenden Bourdieu 1987, S. 147ff.), die von Menschen bei der Lösung von Alltagsproblemen und bei der Bewältigung von Aufgaben ausgebildet wird, läßt sich vor allem dadurch kennzeichnen, daß sie die Ansprüche an die Exaktheit der gefundenen Lösung durch die Praktikabilitätsanforderungen nach Einfachheit, Allgemeingültigkeit und „praktischer Schlüssigkeit“ ersetzt. Die betriebswirtschaftlich geforderte und im Operations Research eingelöste Eindeutigkeit eines *one best way* kollidiert dabei mit den spezifischen berufs- und betriebskulturellen Rationalitäten „guter“ oder *bestmöglicher* Praktiken, die durch Ungewißheiten und Zweideutigkeiten, durch Vagheit und durch die verschwommenen Handlungsprinzipien des Ungefähren charakterisierbar sind. Die praktischen Heuristiken und hinreichend guten Praktiken erfolgreicher Disponenten zeichnen sich besonders dadurch aus, daß sie nicht nur in sich logisch und mit den objektiven Anforderungen vereinbar („schlüssig“), sondern auch „praktisch“ sind im Sinne von bequem, leicht zu beherrschen und handhabbar, da sie der einfachen und ökonomischen *Handlungslogik der Sparsamkeit* folgen. Die *best practices* erfahrener Disponenten und Lkw-Fahrer zeichnen sich in der Transportdomäne gerade dadurch aus, daß sie auf der einen Seite die groben Anforderungen der betriebswirtschaftlichen Vernunft erfüllen, auf der anderen Seite aber die darin enthaltenen Spielräume virtuos für die Entwicklung eines eigenen Arbeitsstils zu nutzen verstehen.

Die am DFKI entwickelten Multiagentensysteme dokumentieren auf eine recht eindrucksvolle Weise die Möglichkeiten einer durch „Sozialmetaphern“ inspi-

rierten Verteilten KI (zur Bedeutung von Sozialmetaphern in der VKI vgl. Florian 1998). Über das soziale Alltagswissen von Informatikern hinaus wurde am DFKI der direkte Kontakt zum Anwendungsfeld ihrer MAS gesucht, mit dem Ziel, die praktischen Anforderungen der Dispositionstätigkeit in Speditionen und Transportunternehmen detaillierter kennenzulernen und für ihre Modellierungsarbeit zu nutzen. Die Zuspitzung der Transportdisposition auf das Problem sozialer Koordinierung, das (im Vergleich zu konventioneller Speditionssoftware) realitätsnähere Modell der Transportdomäne und der direkte Kontakt zu Disponenten verhilft dem DFKI schließlich dazu, jene Anwendungs- und Akzeptanzfallen zu vermeiden, in die herkömmliche computergestützte Dispositionssysteme immer wieder hineintappen. So ist es nicht weiter überraschend, daß die Berücksichtigung der Anwendungspraxis bei der Konstruktion des Multiagentensystems dazu beiträgt, daß die Modellierung der Transportdomäne am DFKI zwar soziologisch weitgehend unbewußt und unreflektiert, aber dennoch äußerst sensibel auf die derzeit in der Transportwirtschaft bestehenden (sozialen und mikropolitischen) Kräfteverhältnisse eingeht, an denen herkömmliche Softwarelösungen oftmals scheitern. Vor allem die Sensitivität gegenüber dem Schutz vertraulicher Wissensbestände und für die hohe Flexibilität, mit der eine verbindliche Entscheidung zwischen hierarchischen und dezentralen Organisationsstrukturen so weit es geht offengehalten wird, zeigt, daß es am DFKI gelungen ist, die Sozialmetaphorik der Verteilten KI - erfahrungsgestützt durch Informanten aus dem Anwendungsfeld - für eine Entwicklung technisch lauffähiger und anwendungstauglicher Multiagentensysteme zu nutzen.

Andererseits lassen sich aber - von einem soziologischen Standpunkt aus betrachtet - die Defizite bei der Modellierung und Simulation der sozialen Praxis in Transportunternehmen nicht übersehen. So werden beispielsweise die *Bewertungs- und Entscheidungskriterien*, nach denen in der menschlichen Dispositionspraxis die Angemessenheit und Güte einer gefundenen Problemlösung beurteilt wird, in den MAS des DFKI stark idealisiert. Die Berücksichtigung der "lokalen Entscheidungskriterien" der Agenten, deren realistische Modellierung im DFKI als eine wichtige Voraussetzung für ein sinnvolles Systemverhalten angesehen wird (Fischer et al. 1993a, S. 40), entpuppt sich bei näherer Betrachtung als ein bloßes Abbild der globalen Normen betriebswirtschaftli-

cher Rationalität. Die externe Festsetzung der formalen Wertmaßstäbe ökonomischer Vernunft durch das Design der Multiagentensysteme erzeugt bei den DFKI-Agenten ein weitgehend homogenes *normatives* Wahrnehmungs-, Bewertungs- und Verhaltensmuster, das von vornherein alle Mißverständnisse, Verständigungsprobleme und Konfliktpotentiale ausschließt, die in der menschlichen Dispositionspraxis auftauchen, wenn unterschiedliche Akteursgruppen eigene Qualitätsnormen und „subkulturelle“ Beurteilungslogiken entwickeln und wenn konkurrierende Bewertungsmaßstäbe existieren, die miteinander um allgemeine Anerkennung ringen. Nach allem, was wir mittlerweile aus der Erforschung betrieblicher Entscheidungsprozesse wissen, ist stark zu bezweifeln, ob die Multiagenten-Systeme die *Bewertungskriterien* angemessen modellieren, nach denen in der menschlichen Dispositionspraxis tatsächlich über alternative Tourenpläne und Fahrtrouten entschieden wird. Die Idealisierung betriebswirtschaftlicher Rationalitätskonzepte in Form einer "zu maximierenden Präferenzfunktion" folgt der "Fiktion einer einheitlichen Wertorientierung und eines einheitlichen Erfolgsmaßstabes", die sterile Entscheidungslogik übersieht bestehende Variabilitätsspielräume und abstrahiert von sozialen Willensbildungsprozessen, von betrieblichen Herrschaftsstrukturen und innerorganisatorischen Konflikten (vgl. bereits die grundlegende Kritik von Albert 1967, S. 392ff.).

Meine These ist deshalb, daß für die Dispositionspraxis in Transportfirmen und Speditionen das gleiche gilt, was Oswald Neuberger und Ain Kompa (1993, S. 154) für Wirtschaftsunternehmen generell formulieren: „In der Unternehmensrealität gibt es (...) kein klares, meßbares, widerspruchsfreies und von allen geteiltes Ziel, auf das hin die Anstrengungen aller systematisch koordiniert werden könnten. Die internen und externen Bedingungen ändern sich fortwährend, ihr jeweiliger Zustand ist nur beschränkt bekannt, die Zusammenhänge sind längst nicht voll durchschaut, die verschiedenen ‚Koalitionäre‘ im Unternehmen verfolgen zum Teil unvereinbare Ziele und nicht nur das fiktive ‚Gesamtziel‘ wird angestrebt, auch die Wege zum Ziel sind nicht bloß neutrale Mittel zum Zweck. (...) Unternehmen produzieren eben nicht nur Güter und Dienstleistungen, sondern auch Macht, Persönlichkeiten, Sozialbeziehungen, Gesellschafts- und Umweltveränderungen.“

Transportunternehmen bilden aus dieser Sicht keine sozialen Organisationen, in denen die Akteure den von der Unternehmensführung normativ gesetzten Zielen ohne weiteres zweckrational folgen. Für erfolgreich operierende Unternehmen erscheint sogar eher eine vage Zielformulierung als vorteilhaft, die zwar selbst Gegenstand von permanenten sozialen Auseinandersetzungen und Konkurrenzkämpfen ist, die zugleich aber der Operationsweisen einer „praktischen Vernunft“ genügend Spielräume beläßt, um die jeweils aktuellen Zielsetzungen und Bewertungskriterien für „erfolgreiches“ Agieren flexibel an sich verändernde Bedingungen anzupassen. Derartige Spiel-Räume sind erforderlich, um neuartige (informelle) Problemlösungen zu entdecken und ad-hoc über die jeweils gültige Zielsetzung und angemessene „Strategie“ entscheiden zu können, die kurz-, mittel- oder langfristig „bessere“ Erfolgsaussichten verheißt. Bislang ist nur wenig über die praktischen Entscheidungsregeln und -maßstäbe der Transportdisponenten bekannt, und es ist fraglich, ob und wie weit sich diese „praktische Logik“ menschlicher Disponenten überhaupt formalisieren läßt.

Meine Annahme ist, daß die ökonomische Rationalität in der Transportdomäne sozio-kulturell konstruiert wird und grundsätzlich interpretations- und legitimationsbedürftig ist. Die Maßstäbe wirtschaftlicher „Vernunft“ werden von Akteuren, die aus ihrer Befolgung nicht nur ökonomisches, sondern auch soziales, kulturelles oder symbolisches "Kapital"⁸ schlagen können, für die soziale Steuerung und Koordination von Handlungen *benutzt*, so daß innerhalb jedes Feldes erst um die spezifische *Bedeutung* und den jeweiligen Grad der *Geltung* betriebswirtschaftlicher Maßstäbe erst gerungen werden muß. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich empirisch zu untersuchen, *welche* Bewertungskriterien und Bedeutungsmuster sich in der Planungs- und Dispositionspraxis überhaupt im Laufe der institutionellen Entwicklungen und der individuellen Lerngeschichten der Disponenten und Fahrer herausgebildet haben und in welchen Entscheidungssituationen sie jeweils aktualisiert werden. Mit Blick auf die in der Transportdomäne geltenden Leistungs- und Qualitätsmaßstäbe für eine zufriedenstellende, gute oder sogar bestmögliche Planung und

⁸ Der Kapitalbegriff wird hier im Anschluß an Bourdieu (1997, S. 49ff.) als Synonym für die Machtressourcen und Handlungschancen von Akteuren benutzt (vgl. ausführlicher hierzu Florian 1994, S. 218ff.; Florian 1998, S. 325ff.).

Disposition muß deshalb empirisch erhoben werden, inwieweit die in ökonomischen Lehrbüchern, in Selbstdarstellungen erfolgreicher Manager oder in den von der VKI anerkannten *constraints* zur "conditio sine qua non" erhobenen Rationalitätsstandards in der Dispositionspraxis auch faktisch gelten.

Seit Beginn der achtziger Jahre ist der Rationalitätsmythos der Betriebswirtschaftslehre erheblich erschüttert worden, was insbesondere auf organisationssoziologische Studien sowie auf empirische Forschungsarbeiten und neue theoretische Konzepte über Managementverhalten und Unternehmenskulturen zurückgeführt werden kann. Besonders der Unternehmenskultur-Ansatz hat die Wahrnehmung betrieblicher Realität erweitert, indem er gegen das "vorherrschende ungeschichtliche und ungesellschaftliche Wissenschaftsprogramm der Betriebswirtschaftslehre" angetreten ist und das Unternehmen wieder als einen "Teil der Gesellschaft" zu begreifen versucht (vgl. Neuberger & Kompa 1993, S, 263). Abweichungen von der sterilen ökonomischen Planungsrationalität sowie mikropolitische Auseinandersetzungen zwischen innerbetrieblichen, miteinander konkurrierenden Interessengruppen und "Sub-Kulturen" haben gezeigt, daß Unternehmen keine monolithischen sozialen Gebilde sind, die zweckrational auf die Verwirklichung betriebswirtschaftlicher Ziele ausgerichtet sind, sondern auch (und vielleicht gerade) dann erfolgreich am Markt agieren, wenn sie imstande sind, die spannungsgeladene Vitalität konkurrierender Zielsetzungen in ihrer betrieblichen Wirklichkeit konstruktiv auf die Ziele des Managements umzuorientieren.

Wenn aber in der betrieblichen Praxis von Transportunternehmen keine allgemeingültige, universalistische Logik gilt, stellt sich die Frage, nach welchen Wertmaßstäben und Bewertungskriterien die Disponenten in ihrer Handlungspraxis entscheiden und wie die handlungsrelevanten Bewertungsmuster soziokulturell entstehen? Die Agenten- und Sozialmodelle des DFKI entsprechen einem sozialtheoretischen Konzept, nach dem rational Handelnde sich bereitwillig an betriebswirtschaftlichen Normen orientieren, dessen Realitätsnähe und Angemessenheit aber aus der Sicht soziologischer Organisationsforschung zumindest umstritten ist. Aber die Maßstäbe, nach denen in der praktischen Planungs- und Dispositionstätigkeit zwischen alternativen Möglichkeiten entschieden wird – in Abhängigkeit von unterschiedlichen Rahmenbedingungen und sich ad-hoc ändernden Situationen, sind bislang noch weitgehend un-

bekannt. Welche Kriterien soll die VKI-Modellierung nun berücksichtigen, wenn sie von den in der menschlichen Gesellschaft entwickelten und bewährten Problemlösungspraktiken lernen will? Eine idealisierte Übertragung der in der Betriebswirtschaftslehre dominierenden und den Disponenten in ihrer beruflichen Ausbildung vermittelten Rationalitätslogik erscheint mir unangemessen, solange nicht empirisch nachgewiesen wird, welchen Stellenwert diese theoretische Rationalität tatsächlich in der betrieblichen Entscheidungspraxis der Akteure gewinnt. Meine Vermutung wäre, daß gerade in einem versierten Umgang mit dem Spannungsverhältnis zwischen theoretischer Entscheidungslogik und praktischer Vernunft die Grundlage für eine leistungsfähige Transportplanung und -disposition liegt.

Als noch komplizierter stellt sich die Frage nach den Bewertungsmaßstäben für leistungsfähige und erfolgreiche Planungsprozesse dar, wenn wir den überschaubaren und langjährig gewachsenen sozialen Zusammenhang von aufeinander eingespielten Disponenten verlassen und uns der zwischenbetrieblichen kooperativen Transportdisposition zuwenden und dazu noch unterschiedliche Berufsgruppen (*occupational communities*) und innerbetriebliche Subkulturen (z.B. die der Lkw-Fahrer) in die Untersuchung mit einbeziehen. Ein weitgehend homologer und konfliktfreier Bewertungshorizont, wie er sich aus gemeinsamen Erfahrungen und Routinen auf der Basis einer vergleichbaren beruflichen und innerbetrieblichen Sozialisation entwickelt haben kann, dürfte bei der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Unternehmenskulturen und bei der Kooperation zwischen unterschiedlichen innerbetrieblichen „Subkulturen“ (vgl. Schein 1996, 1997) als ein eher seltener Sonderfall des Möglichen gelten. Viel wahrscheinlicher ist dagegen die Annahme, daß die soziale Koordinierung der an der kooperativen Transportdisposition beteiligten Akteure durch unterschiedliche und sich voneinander unterscheidende Kriterien und Praktiken beeinflusst wird.⁹

⁹ Für eine realitätsnahe Modellierung und die empirische Erhebung solcher sozialen Differenzen und soziokulturellen Differenzierungen erscheint mir die Habitus-Feld-Theorie von Bourdieu als besonders geeignet (vgl. ausführlicher Florian 1998). Mit ihrer Aufmerksamkeit für (*sub*-)kulturelle Stilisierungen bietet sich diese Theorie an für eine *soziologische* Operationalisierung und Weiterentwicklung des in der Organisationskultur-forschung vertretenen anthropologischen (*Sub*-)Kulturkonzeptes. So läßt sich beispielsweise das Drei-Kulturen-Modell innerbetrieblicher Subkulturen, das Edgar H. Schein (1996, 1997)

Aus soziologischer Perspektive reicht es nicht aus, lediglich einige Facetten aus dem sozialen Zusammenhang der Dispositionspraxis herauszulösen und technisch nachzubilden. Die Möglichkeiten zur Ausbildung und Nutzung einer praktischen Heuristik sind grundlegend abhängig von gesellschaftlichen, ökonomischen, politischen und (sub-)kulturellen Rahmenbedingungen, die bei einer realitätsnahen Modellierung der Transportdomäne mit berücksichtigt werden müssen (z.B. unterschiedliche Entscheidungs- und Handlungsspielräume, soziale Positionen in der betrieblichen Hierarchie, Herausbildung professioneller bzw. betrieblicher Wertmaßstäbe, Entstehung und Anerkennung subkultureller Werte etc.). Die Begrenztheit einer lediglich auf fundiertem Alltagswissen basierenden "Spontansozio­logie" (Bourdieu), der es an einer geeigneten soziologischen Theorie und sozialwissenschaftlichen Methodik für eine empirische Analyse der Transportdomäne mangelt, zeigen sich vor allem dort, wo es darum geht, die subjektiven Sichtweisen der Disponenten als Systembenutzer in einem Zusammenhang mit den objektiven Zwängen gesellschaftlicher Strukturen und sozialer Prozesse in der Transportwirtschaft zu betrachten und als Transportpraxis realitätsnah zu modellieren. Was der VKI fehlt, ist eine reflexive und methodologisch operationalisierbare Distanz zum Forschungsgegenstand, um beispielsweise das soziale Kräfteverhältnis zwischen Disponenten und Lkw-Fahrern zu einem Gegenstand ihrer Modellierungsarbeit zu machen. Die in den Selbstverständlichkeiten der alltäglichen Welt-Anschauung verborgenen sozialen Mechanismen der Arbeitswelt in Transportunternehmen lassen sich nur durch einen „epistemologischen Bruch“ (Bourdieu) mit dem Alltagswissen herausarbeiten. Diesen „Bruch“ mit dem *common sense* reflexiv herzustellen, ist das Metier der Soziologie (vgl. Bourdieu et al. 1991). Welche

vom MIT für die Kennzeichnung der soziokulturellen Unterschiede zwischen den innerhalb der Unternehmen agierenden "professionellen" Gruppierungen benutzt (z.B. "Sub-Kulturen" der Führungskräfte, der Techniker und der Mitarbeiter), mit Hilfe des dreigliedrigen Klassenkonzeptes von Bourdieu soziologisch reinterpre­tieren. Ausgehend von den lebensgeschichtlich erworbenen und innerbetrieblich reproduzierten sozial ungleich verteilten Macht- und Handlungsressourcen („Kapital“) ist anzunehmen, daß es in den sozialen Feldern der Transportwirtschaft je nach dem Volumen und der Art des verfügbaren Kapitalbesitzes "Herrschende" und "Beherrschte" (sowie "Mittelklassen") gibt, die miteinander um die Bewahrung oder Veränderung der jeweils herrschenden sozialen Verteilungsstruktur der begehrten Güter, Leistungen und Attribute kämpfen. Die soziale Anerkennung gruppenspezifischer Bewertungskriterien stellt dabei eine wichtige symbolische Ressource in den sozialen Auseinandersetzungen konkurrierender Akteure dar.

Perspektiven ergeben sich daraus für die weitere Entwicklung der Multiagenten-Technologie in der Transportdisposition?

Zunächst bleibt als Fazit festzuhalten, daß die Multiagentensysteme des DFKI nach dem Vorbild einer relativ einfachen Metaphorik des Sozialen aufgebaut sind und dabei einem recht sorglosen Gebrauch sozialwissenschaftlicher Begriffe folgen, wie er für die Verteilte KI insgesamt typisch ist (vgl. hierzu Burkhard 1993). Die theoretischen Grundlagen der VKI sind bislang noch weitgehend unerforscht, vor allem was die Modellierung einer „Künstlichen Gesellschaft“ als Modell der (menschlichen) Gesellschaft, als Problemlösungsmethode für komplexe intelligente Prozesse und als Integration von Menschen und Maschinen zu Bestandteilen einer „Gesellschaft“ betrifft (vgl. ebd., S. 160). Wie weit die Analogiebildung zwischen menschlichen und künstlichen Sozialformen sinnvollerweise getrieben werden kann und sollte, ist derzeit noch völlig offen.¹⁰ Welche Innovationsimpulse aus einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen VKI und Soziologie für die Weiterentwicklung der Multiagenten-Technologie zu erwarten sind, läßt sich zur Zeit noch nicht genau abschätzen. In jedem Fall erscheint es mir sinnvoll, wenn die Verteilte KI sich zur Fundierung ihrer theoretischen Konzepte und methodischen Ansätze bei der Soziologie informiert, um – wie Hans-Dieter Burkhard (vgl. 1993, S. 160ff.) es formuliert - die sozialen Zusammenhänge künstlicher Gesellschaften besser untersuchen, beschreiben und vergleichend beobachten zu können und deren soziale Organisation in Analogie zur Organisation menschlicher Sozialität zu entwickeln.

Auch ein weiterer Ansatzpunkt ist nach meinem Eindruck für die Weiterentwicklung der Multiagenten-Technologie in der Transportdisposition wesentlich: die Entstehung von *"hybriden Gemeinschaften"*, die sich aus künstlichen Agenten und menschlichen Benutzern zusammensetzen. Welche Chancen haben derartige Hybridgemeinschaften und auf welche Weise wird das soziotechnische Rationalisierungspotential der Verteilten KI durch hybride Sozialformen beeinflußt? Auch diese Frage läßt sich heute noch nicht zufriedenstellend be-

¹⁰ Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat hierzu erst kürzlich ein Schwerpunktprogramm „Sozionik: Erforschung und Modellierung künstlicher Sozialität“ aufgelegt, das sich mit der systematischen Überprüfung der Möglichkeiten und Grenzen einer sinnvollen Analogiebildung zwischen menschlichen und künstlichen Sozialmodellen beschäftigen wird.

antworten, zumal sie die herkömmliche Vorstellungswelt soziotechnischer Systemanalysen und industriesoziologischer Ansätze sprengt, die der Technik kein eigenständiges soziales (Inter-)Aktionspotential zutrauen. Wird die Entwicklung hybrider Gemeinschaften Realität, dann wird der Soziologie allerdings ein Umdenkungsprozeß abverlangt, nach neuen Antworten zu suchen auf die alten Fragen nach den Beziehungen zwischen Technik und Gesellschaft und nach der Handlungsfähigkeit technischer Artefakte.

Wie läßt sich das Problem einer „angemessenen“ Funktionsteilung zwischen Menschen und Maschinen in Hybridgemeinschaften lösen und welche Konsequenzen folgen daraus für die Verknüpfung zwischen dem sozialen und technischen Teilsystem, wenn das technische System als Multiagentengesellschaft selbst unterschiedliche soziale Systeme nachbilden und simulieren kann? Was die zukünftigen Entwicklungstrends bei der Gestaltung von Arbeit, Technik und Organisation in der Transportdomäne betrifft, halte ich die folgenden drei Szenarien für denkbar.

(1) Trendszenario: "Konservativer, die bestehenden Organisationsformen erhaltender Einsatz der MAS-Technologie"

Das Multiagentensystem wird von den Disponenten und den telekommunikativ mit der Dispositionszentrale vernetzten Fahrern als ein Dispositionshilfsmittel bzw. Entscheidungsunterstützungssystem bei der kooperativen Planung und Disposition von Transportabläufen genutzt. Das MAS trägt zur Beschleunigung und Qualitätsverbesserung des Planungsprozesses bei, indem es vor allem eine betriebswirtschaftlich (und logistisch am Kundennutzen) orientierte Bewertung alternativer Tourenpläne erlaubt, konventionelle und neuartige Methoden und Hilfsmittel in den Planungsprozeß integriert und sich durch maschinelles Lernen auf die in der Dispositionspraxis geltenden Maßstäbe und Bewertungskriterien einstellen kann. An der grundsätzlichen Aufgabenteilung zwischen Disponenten und Fahrern ändert sich nichts Grundlegendes. Allerdings kann mit dem Einsatz des MAS eine Weiterqualifizierung insbesondere der Fahrer verbunden sein, die z.B. ihren Einsatz als Disponenten ermöglicht oder dazu führen kann, daß Teilaufgaben der zentralen Tourenplanung und -disposition zur Bewältigung von Planungsempfängen vorübergehend an die Fahrer delegiert werden können. Das MAS trägt vor allem dazu bei, daß die ökonomische Logik betrieblicher Entscheidungen transparenter wird und in den lokalen Entscheidungssituati-

onen stärker berücksichtigt wird, was aus der Sicht des Managements eine entscheidende Voraussetzung dafür ist, daß die Transportdisposition als ein kooperativer und selbstorganisierter Prozeß überhaupt ermöglicht wird. Je nach bestehenden (arbeits)organisatorischen Voraussetzungen werden unterschiedliche MAS-Implementationen im Einsatz sein, die den Fahrern im Normalbetrieb eine mehr oder weniger ausgeprägte Beteiligung an der kooperativen Entwicklung der Tourenpläne erlauben. Bei auftretenden Schwierigkeiten und Störungen findet eine Kontaktaufnahme mit der Dispositionszentrale statt, um die Tourendisposition zu aktualisieren oder neue Anweisungen entgegenzunehmen. Zu einem entscheidenden Feature des Multiagentensystems wird die Vertraulichkeit der Datenkommunikation und Wissensbestände werden, um zwischen und innerhalb der kooperierenden Unternehmen einen Schutz der sensiblen Daten (z.B. kunden- und personenbezogene Daten) zu ermöglichen und die Online existierenden Kontrollchancen nicht für eine Überwachung des Arbeitsprozesses der Fahrer (oder der Disponenten) nutzen zu können.

(2) Extremszenario I "(Tayloristische) Industrialisierung der Transportarbeit"

Im Taylorisierungs- bzw. Industrialisierungsszenario werden die lokalen Dispositionsleistungen der Lkw-Fahrer nach einer Einführungsphase des Multiagentensystems weitgehend überflüssig. Das MAS übernimmt die Feindisposition, Kontrolle und Steuerung des Transportablaufes stellvertretend für die Fahrer, die nur noch für das Ausführen des Transportauftrages benötigt werden (z.B. Führen des Kraftfahrzeuges, ad-hoc-Eingabe von Störungsparametern, Lade- oder Nebentätigkeiten etc.). Das MAS wird dabei nebenläufig für eine Akquisition des praktischen Planungs- und Dispositionswissens der Fahrer genutzt, die nur noch über das Ergebnis des Aushandlungsprozesses "ihres" Lkw-Agenten informiert werden, sich ansonsten aber strikt an die vorgegebenen Fahrpläne und Routen zu halten haben.

(3) Extremszenario II "Automatisierung der Transportdisposition"

Beim Automatisierungsszenario wird zunächst nur die zentrale Disposition durch das MAS substituiert, bevor bei einem weiterführenden Automatisierungsschritt auch die lokale Feindisposition von einem Multiagentensystem übernommen werden kann. Durch die Weiterqualifizierung und die Stärkung der Kompetenzen der Fahrer wird eine zentrale Disposition insofern überflüssig, als das MAS nunmehr eine automatische Generierung der Tourenplanung vornehmen kann - unterstützt durch die dezentrale Dateneingabe sowie die lokale Wahrnehmung und ad-hoc-Bewältigung von Störungen auf

seiten der Fahrer. Die Kunden sind (ebenso wie die Fahrer) über interaktive User-Assistenten unmittelbar mit dem MAS verbunden, übermitteln ihre Aufträge samt den Sonderwünschen und lassen über ihre intelligenten Agenten sogar die Preise und die spezifischen Lieferkonditionen aushandeln. Als Alternative wäre es vorstellbar, daß eine Verschmelzung der Funktionen des kaufmännischen und dispositiven Bereiches in den Speditionen stattfindet, so daß nicht die Fahrer und das MAS, sondern kaufmännische Angestellte die noch verbleibenden Aufgaben in der Transportplanung in ihr Tätigkeitsspektrum übernehmen. Logistisch betrachtet wäre es sinnvoll, den Kunden gegenüber nur einen einzelnen Ansprechpartner zu haben, der für den gesamten Prozeß von der Auftragsannahme über das betriebswirtschaftliche Controlling bis hin zur Planung und Steuerung der Transportoperationen verantwortlich ist, über den jeweils aktuellen Status der Auftragsbearbeitung präzise Bescheid weiß und die Kompetenzen besitzt, jederzeit in den Transportablauf regulierend einzugreifen. Ganz gleich, ob die Fahrer oder die kaufmännischen Bereiche dann die verbleibenden Resttätigkeiten übernehmen: In jedem Fall wird in dem Automatisierungsszenario die Planungs- und Dispositionstätigkeit weitgehend durch das MAS übernommen.

Während die technische Realisierbarkeit der drei Szenarien sich noch relativ optimistisch einschätzen läßt, dürfte die tatsächliche Verwirklichung dieser Zukunftsbilder in einem hohen Maße von mikro- und arbeitspolitischen Voraussetzungen abhängen, weshalb ich dem Trendszenario die größten Umsetzungschancen einräumen würde. Die Bereitschaft der Disponenten und der Fahrer, sich an der kooperativen Nutzung des MAS konstruktiv zu beteiligen, ließe sich durch eine finanzielle Höhergruppierung oder durch die Aufwertung ihrer innerbetrieblichen Stellung honorieren (z.B. stärkere Mitverantwortung für den Planungs- und Dispositionsprozeß, Aushandlungskompetenzen bei strittigen Problemlösungen, "Mitunternehmer"-Funktion). Die Zugeständnisse an die neuen "Ko-Unternehmer", vor allem was die Ergebnisverantwortlichkeit und die Chancen zur verstärkten Selbstorganisation der operativen Abläufe betrifft, würden dabei letztlich mit einer stillschweigenden Übernahme von kapitalistischen Wirtschaftlichkeitskriterien erkaufte - das jedenfalls dürfte eines der Motive der Geschäftsführung sein, Kompetenzen und Verantwortung nach unten zu delegieren. Multiagentensysteme könnten vor diesem Hintergrund zu einer Sozialtechnologie des 21. Jahrhunderts avancieren, die simultanes Planen ermöglicht durch die Gleichzeitigkeit und rekursive Verkopplung von Planung

und Ausführung, und die darüber hinaus die Dezentralisierung und Partizipation für eine Selbst-Domestizierung der "wilden" Vorgehensweisen der praktischen Heuristik nutzbar macht.¹¹ Welche arbeits- und leistungspolitischen "Kosten" dabei allerdings auf die Disponenten und Fahrer zukommen, läßt sich derzeit nur schwer einschätzen. Und ob sich die beteiligten Akteure dann auch tatsächlich auf dieses Szenario einlassen werden, muß sich erst noch zeigen.

¹¹ In diesem Sinne könnte man dann tatsächlich davon sprechen, daß die einzelnen Agenten wie "Fraktale" (Warnecke 1993) funktionieren, deren lokale Entscheidungskriterien denen der Zentrale (selbst)ähnlich sind, ohne allerdings durch bürokratische Kontrollmechanismen kontaminiert zu werden.

Literatur

- Albert, H.: Markt und Organisation: Der Marktmechanismus im sozialen Kräftefeld. In: Albert H.: Marktsoziologie und Entscheidungslogik. Ökonomische Probleme in soziologischer Perspektive. Neuwied und Berlin 1967, S. 392-417
- Amberger, P.: Statement zur Diskussionsrunde "Logistik kooperativ - Konjunkturmotor für den Mittelstand". In: Bundesvereinigung Logistik 1993, Bd. 1, S. 324-336
- Bargl, M.: Tourenplanung in der Transportwirtschaft - viel gelobt, selten genutzt? Studie untersucht die Gründe der geringen Nachfrage. In: Logistik im Unternehmen 6 (1992), Nr.6, S.80-84
- Behrendt, R. (Hg.): Angewandte Wissensverarbeitung - Die Expertensystemtechnologie erobert die Informationsverarbeitung. München, Wien 1990
- Bertram, M.; Möhlmann, D.; Nachreiner, F.: EDV-Einsatz in kleinen und mittleren Speditions- und Lagereiunternehmen. In: Der Spediteur, 40. Jg., Heft 5, Mai 1992, S.171-177
- Bertram, M.; Möhlmann, D.; Nachreiner, F.; Schlechter, H.: Probleme mit der Hard- und Software in Speditionsunternehmen. In: Der Spediteur, Heft 9, September 1992, S.285-289
- Boes, M.F.: Statement zur Diskussionsrunde "Logistik kooperativ - Konjunkturmotor für den Mittelstand". In: Bundesvereinigung Logistik 1993, Bd. 1, S. 338-350
- Bogedale, U.; Dahrendorf, K.; Frieling, E.; Grandjot, H.-H.; Hentrich; Pfitzmann; Roth: EDV-Einsatz in Speditionen - ökonomische und soziale Erfahrungen in mittelständischen Unternehmen, Heilbronn 1991
- Bond, A.; Gasser, L. (Eds.): Readings in Distributed Artificial Intelligence. Los Angeles, CA 1988
- Bourdieu, P.: Sozialer Sinn. Kritik der theoretischen Vernunft. Frankfurt/M 1987
- Bourdieu, P.: Ökonomisches Kapital – Kulturelles Kapital – Soziales Kapital. In: Bourdieu, P.: Der Tote packt den Lebenden. Hamburg 1997, S. 49-79
- Bourdieu, P.; Chamboredon, J.-C.; Passeron, J.C.: Soziologie als Beruf. Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen soziologischer Erkenntnis. Berlin und New York 1991
- Bürckert, H.-J.; Fischer, K.; Vierke, G.: TELETRUCK: A Holonic Fleet Management System. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. DFKI-Technical Memo TM-97-03. Saarbrücken, Dezember 1997
- Burkhard, H.-D.: Theoretische Grundlagen (in) der Verteilten Künstlichen Intelligenz. In: Müller, J. (Hg.) 1993, S. 157-189

- Cooper, J.; Browne, M.; Peters, M.: European Logistics. Markets, Management and Strategy. Oxford 1991
- Dahrendorf, K. und Roth, J.-J.: EDV und Arbeit in Speditionen. Ergebnisse aus einer Untersuchung im Auftrag des BMFT, Projektträger Humanisierung der Arbeit. In: Logistik und Arbeit 1/1992, S. 52-57
- Davis, R., Smith, R.G., 1983: Negotiation as a Metaphor for distributed problem solving, in: Artificial Intelligence 20 (1/83), S. 63-109
- DUDEN Fremdwörterbuch. 3., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim, Wien, Zürich 1974
- Eyett, D.: Kundengerechte Dienstleistung als Erfolgsfaktor auf den Keypmärkten: Der Kampf um Marktanteile wird immer härter. In: DVZ Nr. 139 vom 22.11.1994, Sonderbeilage "Express-Verkehr", S. 25 und 28
- Fischer, K.; Kuhn, N.: A DAI Approach to Modeling the Transportation Domain. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. DFKI-Research Report RR-93-25. Saarbrücken, Juni 1993
- Fischer, K.; Kuhn, N.; Müller, H.J.; Müller, J.P.; Pischel, M.; Schroth, A. (1993a): Verteiltes Problemlösen im Transportwesen. In: IM Information Management 2/93, S. 32-40
- Fischer, K.; Kuhn, N.; Müller, H.J.; Müller, J.P.; Pischel, M. (1993b): Sophisticated and Distributed: The Transportation Domain. Proceedings of the Fifth European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'93). Neuchatel, Schweiz, August 1993
- Fischer, K.; Müller, J.P.; Pischel, M. (1995a): Cooperative Transportation Scheduling: An Application Domain for DAI. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. DFKI-Research Report RR-95-01. Saarbrücken 1995
- Fischer, K.; Müller, J.P.; Pischel, M.; Schier, D. (1995b): A Model for Cooperative Transportation Scheduling, Proceedings of the 1st International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95). San Francisco, June 1995
- Florian, M.: "Highway Helden" in Not. Arbeits- und Berufsrisiken von Fernfahrern zwischen Mythos und Realität. Berlin: Edition Sigma, 1994
- Florian, M.: Lean Logistik durch virtuelle Unternehmen? Was können Speditionen aus den "Revolutionen" in Business Bestsellern lernen? In: LOGISTIK + ARBEIT, Heft 6/95, S. 44-61
- Florian, M.: Die Agentengesellschaft als sozialer Raum. Vorschläge zur Modellierung von "Gesellschaft" in VKI und Soziologie aus der Sicht des Habitus-Feld-Konzeptes von Pierre Bourdieu. In: Malsch, T. (Hg.): Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität. Berlin 1998, S. 297-344
- Freichel, S.L.K.: Organisation von Logistikservice-Netzwerken. Theoretische Konzeption und empirische Fallstudien. Berlin 1992

- Gabriel, R.: Leistungspotentiale und Integrationsmöglichkeiten von OR- und wissensbasierten Systemen. In: Werners & Gabriel (Hg.) 1994, S. 439-471
- Geissler, K.D.: Die vier großen Integrators versus das traditionelle Gespann Agent/Carrier: Beide agieren auf zwei unterschiedlichen Märkten. In: DVZ Nr. 108 vom 10.9.1994, S. 21
- Hammacher, J.: DHL setzt auf Qualitätsmanagement und Dialogorientierung: Kooperationen stärken die weltweite Wettbewerbsfähigkeit. In: DVZ Nr. 139 vom 22.11.1994, Sonderbeilage "Express-Verkehr", S. 20 und 24
- Harmon, P.; King, D.: Expertensysteme in der Praxis. München, Wien 1989
- Hewitt, C.: Open Information Systems Semantics for Distributed Artificial Intelligence, in: Artificial Intelligence 47 (1991), 79-106
- Hummelberg, W.: Computergestützte Tourenplanung. In: Werners & Gabriel (Hg.) 1994, S. 413-438
- Kieser, A.; Kubicek, H.: Organisation. 3., völlig neubearbeitete Auflage. Berlin, New York 1992
- Läpple, D. (Projektleiter); Bukold, S.; Florian, M.; Weißbach, H.J.: Logistische Räume. ISRT Hamburg, IuK Institut Dortmund, TU Hamburg-Harburg. Dezember 1993 (unveröffl. Forschungsbericht)
- Lewis, J.D.: Strategische Allianzen. Informelle Kooperationen, Minderheitsbeteiligungen, Joint Ventures, Strategische Netze. Frankfurt/Main, New York 1991 (engl.: 1990)
- "Log Sped keine Kooperation mehr: Im Markt zeichnen sich Oligopole ab. In: DVZ Nr. 132 vom 5.11.1994, S. 1
- Malsch, Th.; Bachmann, R.; Jonas, M.; Mill, U.; Ziegler, S.: Expertensysteme in der Abseitsfalle? Fallstudien aus der industriellen Praxis, Berlin 1993
- Manner-Romberg, H.: Was die Kep-Branche braucht: Individueller Service und Mehrwertdienste. In: DVZ Nr. 139 vom 22.11.1994, Sonderbeilage "Express-Verkehr", S. 17 und 19
- Maruhn, E.: Expres- und Kurierdienste: Mit modernster Distributionslogistik zum Erfolg. In: Internationales Verkehrswesen 46 (1994), Heft 5, S. 288-291
- Möhlmann D.; Nachreiner, F.; Nickel, P.; Schlechter, H. (1993a): Manuelle versus EDV-gestützte Disposition. Über einige Probleme mit der EDV-gestützten Disposition In: LOGISTIK + ARBEIT 4/93, Arbeit und Technik in Internationalen Speditionen. 1. Deutsch-Schwedische Tagung in Stralsund, S. 41-45
- Möhlmann, D.; Bertram, M.; Nachreiner, F.; Schlechter, H. (1993b): Probleme der Arbeitsorganisation bei der Einführung von EDV in Speditionsunternehmen. In: Der Spediteur, 41. Jg., Heft 2, Februar 1993, S.31-33

- Möhlmann, D.; Nachreiner, F.; Nickel, P.; Schlechter, H. (1993c): Benötigt der Lkw-Disponent den Verkehrsfunk? In: Der Spediteur, 41. Jg., Heft 6, Juni 1993, S.189-196
- Möhlmann, D.; Bertram, M.; Nachreiner, F.; Schlechter, H. (1993d): Aufgabenbearbeitung mit Hilfe der EDV in kleinen und mittleren Speditionsunternehmen. Ergebnisse arbeitswissenschaftlicher Analysen. In: Der Spediteur, 41. Jg., Heft 9, September 1993, S. 253-260
- Müller, H.J.: Einführung. In: Müller J. 1993, S. 9-21
- Müller, J. (Hg.): Verteilte Künstliche Intelligenz. Methoden und Anwendungen. Mannheim, Leipzig, Wien und Zürich 1993
- Müller, J.P.; Pischel, M. (1993a): InteRRaP: eine Architektur zur Modellierung Flexibler Agenten. In: Müller J. (Hg.) 1993, S. 45-54
- Müller, J.P.; Pischel, M. (1993b): The Agent Architecture INTERRAP: Concept and Application. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. DFKI-Research Report RR-93-26. Saarbrücken 1993
- Müller, H.J.; Wittig, T.: Anwendungen von Multi-Agenten Systemen. In: Müller J. (Hg.) 1993, S. 267-297
- Mündemann, G.: Transfracht: Erfolgreiche Umstrukturierung. In: Zeitschrift für Logistik, Heft 4-5/1994, S. 90
- Nachreiner, F.; Möhlmann, D.; Meyer, I.; Nickel, P.; Riering, G.: Benutzerfreundliche Gestaltung von Softwaresystemen der Logistik am Beispiel der Speditions-Software. In: Ernst, G.; Büntgen, W.; Pornschlegel, H.; Westfal, U. (Hg.): Zukunft von Arbeit in logistischen Systemen. Dortmund 1994,. S. 283 – 294
- Neuberger, O.; Kompa, A.: Wir, die Firma. Der Kult um die Unternehmenskultur. München 1993
- Plehwe, D.: Schlüsselkonzerne im Transportsektor. In: Logistik und Arbeit 3/93, S. 56-63
- Portatius, B. von: Die Logistik-Märkte der Zukunft. In: Logistik im Unternehmen 6 (1992), Nr. 3, S. 14
- Rosenstiel, L. von: Grundlagen der Organisationspsychologie. Basiswissen und Anwendungshinweise. 3., überarb. und erg. Aufl. Stuttgart 1992
- Schein, E. H.: Three Cultures of Management: The Key to Organizational Learning. In: Sloan Management Review, Fall 1996, Volume 38, No. 1
- Schein, E. H.: Wenn das Lernen im Unternehmen wirklich gelingen soll. In: Harvard Business Manager, Heft 3, 1997, S. 61-74
- Schier, D.; Fischer, K.: Ein Multiagentenansatz zum Lösen von Fleet-Scheduling-Problemen. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. DFKI Document D-96-01. Saarbrücken 1996

- Schmied, E.: Die Schnittstelle ist tot, es lebe der Verbund: Die Rolle des Logistikdienstleisters beim Aufbau von Logistikketten. In: Zeitschrift für Logistik, Heft 4-5/1994, S. 69-73
- Schumacher, D.: Wege zum Expertensystem. In: Behrendt (Hg.) 1990, S. 55-76
- Sydow, J.: Strategische Netzwerke und Transaktionskosten. Über die Grenzen einer transaktionskostentheoretischen Erklärung der Evolution strategischer Netzwerke. In: Managementforschung 2 (1992), hg. von W.H. Stahle und P. Conrad, S. 239-311
- Walford, T.: Reaktion der Integrators auf die Herausforderungen der Industrie: Kreative Flexibilität und Offenheit für alles Neue. In: DVZ Nr. 139 vom 22.11.1994, Sonderbeilage "Express-Verkehr", S. 22 und 24
- Warnecke, H.-J.: Revolution der Unternehmenskultur. Das Fraktale Unternehmen. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 1993
- Weber, J.; Kummer, S.: Logistikmanagement. Führungsaufgaben zur Umsetzung des Flußprinzips im Unternehmen. Stuttgart 1994
- Werners, B.; Gabriel, R. (Hg.): Operationsresearch. Reflexionen aus Theorie und Praxis. Festschrift zum 60. Geburtstag von Hans-Jürgen Zimmermann. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest 1994
- Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 12., überarbeitete Auflage. München 1976
- Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R.: Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey. In: Jennings, N.R.; Wooldridge, M.J. (Eds.): Intelligent Agents. ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. Amsterdam, The Netherlands August 8-9, 1994, Proceedings. Berlin, Heidelberg 1995, S. 1-39