

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität GH Essen
Fachbereich 5: Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, D – 45141 Essen
Tel.: ++49 (0) 201 / 183 - 4007
Fax: ++49 (0) 201 / 183 - 4017

Arbeitsbericht Nr. 5

Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen

Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski
Dr. Klaus Fischer



E-Mail: stephan.zelewski@pim.uni-essen.de

Internet: <http://www.pim.uni-essen.de/mitarbeiter/person.cfm?name=pimstze>

Essen 1999

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsüberblick:Seite

1	Gegenstandsbereich des Projekts ONKAMAS	1
1.1	Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken	1
1.2	Anwendungsebene des DFG-Schwerpunktprogramms	4
2	Lösungskonzept	7
2.1	Ontologien	7
2.2	Vorgehensweise	8
2.3	Implementierung – die technologische Ebene des DFG-Schwerpunktprogramms	12
3	Angaben zu den Antragstellern	17
4	Literaturhinweise (Draft)	18

Vorwort

Der Arbeitsbericht stellt eine Skizze von Ideen für das Projekt ONKAMAS (Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen) dar. Das Forschungsvorhaben soll als „Tandem-Projekt“ im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ von zwei Arbeitsgruppen gemeinsam beantragt werden:

- Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement der Universität-GH Essen (Leitung der Arbeitsgruppe: Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski);
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Abteilung Deduktion und Multiagentensysteme (vorläufige Leitung der Arbeitsgruppe: Dr. Klaus Fischer)

Von den beiden vorgenannten Arbeitsgruppenleitern wurden die nachfolgenden Projektideen artikuliert, und zwar mit Schwerpunkt auf Kapitel 1 bis 2.2 aus Essener sowie mit Schwerpunkt auf Kapitel 2.3 aus überwiegend Saarbrücker Perspektive. Die „redaktionelle Verantwortung“ für den hier vorgelegten Arbeitsbericht trägt der erste der beiden Verfasser.

Die Projektskizze wurde anlässlich des Workshops „Fertigungslogistik“ präsentiert, der am 17.08.1999 an der Universität-GH Paderborn zur Vorbereitung des DFG-Schwerpunktprogramms „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ stattfand.

1 Gegenstandsbereich des Projekts ONKAMAS

1.1 Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken

Produktions- und Logistiknetzwerke erlangen seit Beginn der neunziger Jahre große betriebswirtschaftliche Beachtung. Dies gilt sowohl hinsichtlich der theoretischen Analyse solcher Netzwerkstrukturen als auch in bezug auf die betriebliche Praxis. Vor allem zwei Konzepte, die im Vordergrund der betriebswirtschaftlichen Diskussion des letzten Jahrzehnts standen, haben das Interesse an Produktions- und Logistiknetzwerken nachhaltig unterstützt:

- *Virtuelle Unternehmen* rücken den Netzwerkgedanken in das Zentrum organisations- und institutionswissenschaftlicher Arbeiten: Ein Virtuelles Unternehmen ist ein temporärer Zusammenschluß von mehreren Unternehmen, die zwar ihre rechtliche Selbständigkeit aufrechterhalten, jedoch im Interesse eines gemeinsam verfolgten Projekts nach außen – insbesondere gegenüber ihren Kunden – als eine wirtschaftliche Einheit auftreten. Zu den besonderen Kennzeichen eines Virtuellen Unternehmens gehört es, auf eine starre Aufbauorganisation („Hierarchie“) zur Regelung der Beziehungen zwischen den Partnerunternehmen zu verzichten. Statt dessen erfolgt eine Fokussierung auf Koordinationsmechanismen der Ablauforganisation, die dafür sorgen sollen, durch das arbeitsteilige Zusammenwirken der Partnerunternehmen die gemeinsam angestrebten Projektziele tatsächlich zu verwirklichen. In der Regel wird zur Implementierung solcher Koordinationsmechanismen auf moderne Informations- und Kommunikationstechnologien zurückgegriffen.
- Seitens der Logistik wird unter der Thematik „*Supply Chain Management*“ die wettbewerbsstrategische Bedeutung der überbetrieblichen Koordination von Güterflüssen betont. Dabei wird der Begriff der „Lieferkette“ inhaltlich so weit ausgelegt, daß er sich über den gesamten Güterfluß erstreckt: beginnend bei den Lieferanten von Vorprodukten über die Produzenten von Zwischen- und Endprodukten sowie über die Distribution der Produkte durch den Handel bis hin zum Konsumenten. Nachdem über viele Jahre hinweg vornehmlich im Bereich der Produktion versucht wurde, durch Innovations- und Rationalisierungsmaßnahmen Effizienzvorteile zu erringen, wird von Anhängern des Supply Chain Managements die These vertreten, daß sich wettbewerbsstrategische Vorteile für Strategien der Kosten-, der Service- oder der Zeitführerschaft heutzutage am ehesten durch konzeptionelle Innovationen im Bereich der überbetrieblichen Logistik erzielen lassen. Ein aktuelles Beispiel liefert das Ringen zwischen Industrie und Handel um die Systemführerschaft in der Konsumgüterdistribution, das vor allem unter aktuellen Schlagworten wie „Efficient Consumer Response“, „Quick Response (Capability)“ und „Continuous Replenishment“ geführt wird.

Die beiden voranstehend skizzierten thematischen Felder der Virtuellen Unternehmen und des Supply Chain Managements umgrenzen den Gegenstandsbereich des Projekts ONKAMAS. Dabei wird der Netzwerkgedanke, der das Konzept Virtueller Unternehmen dominiert, mit dem Aspekt überbetrieblicher Koordination von Güterflüssen in Lieferketten verschmolzen, der seitens des Supply Chain Managements besonders betont wird. Aus der Integration beider Perspektiven resultiert das Konstrukt der Produktions- und Logistiknetzwerke, das im folgenden der Kürze halber auch als „Wertschöpfungsnetzwerk“ oder „Supply Web“ thematisiert wird.

Ein *Produktions- und Logistiknetzwerk* (synonym: *Wertschöpfungsnetzwerk*, *Supply Web*) läßt sich in einer groben Annäherung durch fünf charakteristische Merkmalsgruppen beschreiben:

- ① *Verteiltheit*: Das Netzwerk besteht aus *mehreren* Einheiten, die zwecks Erstellung einer komplexen Leistung *arbeitsteilig* zusammenwirken.
- ② *Multifunktionalität*: Die Leistungserstellung erstreckt sich sowohl auf die *Herstellung* von Gütern – von *Sachgütern* und/oder *Dienstleistungen* – als auch auf die *Versorgung* von Abnehmern mit diesen Gütern. Die Einheiten, die an der Leistungserstellung beteiligt sind, erfüllen daher entweder eine Produktions- (Produktionseinheiten) oder eine Versorgungsfunktion (Versorgungseinheiten) oder beide Funktionen gemeinsam. Soll zwischen der Produktions- und der Versorgungsfunktion nicht näher differenziert werden, wird von einer *Wertschöpfungseinheit* gesprochen.
- ③ *Teilautonomie*: Jede Wertschöpfungseinheit ist in der Lage, eine *Teilaufgabe* aus der Gesamtaufgabe der Leistungserstellung *autonom* zu erfüllen.
- ④ *Organisationsfreiheit*: Es existiert keine fest vorgegebene ablauforganisatorische Verknüpfung der Wertschöpfungseinheiten untereinander; insbesondere sind sie weder nach dem Verrichtungs- noch nach dem Fließprinzip angeordnet.
- ⑤ *Flußfreiheit*: Statt dessen sind die Wertschöpfungseinheiten durch *materielle* und *informationelle Flußbeziehungen* untereinander verknüpft, die sowohl einen *wahlfreien Güter-* als auch einen *wahlfreien Informationsfluß* zwischen allen Knoten des Netzwerks gestatten.

In der wirtschaftlichen Praxis findet sich eine Vielzahl von konkreten Ausformungen solcher Produktions- und Logistiknetzwerke. Hinsichtlich des Ausmaßes ihrer geographischen Verteiltheit und in bezug auf die Schwerpunkte, die sie entlang der umfassend ausgelegten Supply Chain bilden, lassen sich beispielsweise folgende Netzwerktypen unterscheiden:

- Engineering-Netzwerke, z.B. für die Entwicklung des „Smart Car“, die nur zu 25% durch die Micro Compact Cars / Biel erfolgte;
- Lieferanten-Netzwerke, wie etwa die „LOPEZ-Fabrik“ in Resende (Brasilien);
- dauerhafte, regionale Produktionsverbände, z.B. bei mittelständischen Akzidenz-Druckereien;
- dauerhafte Euro- und Global-Manufacturing-Netzwerke, die vor allem in der Automobilindustrie und im Flugzeugbau (beispielsweise Airbus Industries) anzutreffen sind;
- temporäre Produktionsverbände als Virtuelle Produktionsunternehmen, insbesondere im Rahmen des US-amerikanischen AIMS-Projekts (Agile Infrastructure for Manufacturing Systems) mit Beteiligung von General Motors, Lockheed, Texas Instruments u.a.;
- Handels-Netzwerke, die sich über mehrere Handelsstufen vom herstellernahen Groß- bis zum konsumentennahen Einzelhandel erstrecken;
- Recycling-Netzwerke, wie etwa das Verwertungsnetz Steiermark.

Innerhalb dieses weit gefaßten Gegenstandsbereichs der Produktions- und Logistiknetzwerke werden im Rahmen des Projekts ONKAMAS besondere Akzente gesetzt, um die zeitlichen und personellen Forschungsressourcen möglichst gewinnbringend auf solche Teilbereiche zu fokussieren, die sich durch zwei Eigenschaften auszeichnen: Einerseits soll es sich um Aspekte von Supply Webs handeln, bezüglich derer in der betrieblichen Praxis noch erheblicher Gestaltungsbedarf besteht. Dies sichert die Praxisrelevanz der Fragestellungen, die innerhalb des Projekts erforscht werden sollen, und fördert die Chance, Unternehmen als Kooperationspartner für die Projektarbeiten gewinnen zu können. Andererseits müssen die behandelten Aspekte durch einschlägige Kompetenzen der Projektpartner unterlegt sein. Aufgrund dieser zwei Auswahlkriterien wird sich das Anwendungsszena-

rio des Projekts ONKAMAS auf folgende Teilbereiche der Leistungserstellung in Produktions- und Logistiknetzwerken konzentrieren:

- *Überbetriebliche Koordination von Planungsaktivitäten:* Für die Planung der Produktions- oder der Logistikleistungen innerhalb eines Betriebs sind seitens der Betriebswirtschaftslehre, insbesondere seitens des Operations Research, in der Vergangenheit bereits sehr leistungsfähige Planungskonzepte und -algorithmen entwickelt worden. Die Antragsteller sehen auf dieser innerbetrieblichen Ebene keine herausragenden Potentiale, durch Neuentwicklungen die Effektivität oder Effizienz der Programm- und Prozeßplanungen erheblich zu steigern. Hingegen wurde der *überbetrieblichen* Planung von Produktions- oder Logistikleistungen, die über *(teil)autonome* Planungsträger in mehreren Betrieben *verteilt* ist, bislang weder in der Betriebswirtschaftslehre noch in der betrieblichen Praxis nennenswerte Aufmerksamkeit zuteil. Daher wird sich das Projekt vornehmlich mit der *überbetrieblichen Koordination von Produktions- und Logistikplanungen* befassen, die von autonomen Planungsträgern in den Wertschöpfungseinheiten eines Supply Webs durchgeführt werden.
- *Integration von Industrie-, Handels- und Speditionsperspektive:* Bislang herrschte nicht nur in der Betriebswirtschaftslehre eine klare institutionelle Trennung zwischen spezialisierten Industrie-, Handels- und Speditionsbetriebslehren vor, die sich in ihren Begrifflichkeiten, Konzepten und Instrumenten deutlich voneinander unterscheiden. Vielmehr war auch die betriebliche Praxis lange Zeit durch eine korrespondierende Abgrenzung zwischen den Branchen Industrie, Handel und Speditionsgewerbe geprägt. Erst in jüngerer Zeit zeichnen sich Tendenzen einer zunehmend stärkeren Verflechtung zwischen diesen Branchen ab, die teils kooperativer und teils kompetitiver Natur sind. So entstehen „Special Relationships“ zwischen Handelsunternehmen mit großer Einkaufsmacht auf der einen Seite und Unternehmen der Konsumgüterindustrie auf der andere Seite, wenn die Industrieunternehmen in der Lage und auch willens sind, auf Continuous-Replenishment- und Quick-Response-Anforderungen des Handels flexibel einzugehen. In solche Kooperationen zwischen Industrie- und Handelsunternehmen werden des öfteren Speditionsunternehmen einbezogen, die mit speziellen Logistikkonzepten dafür Sorge tragen, die hohen Anforderungen an die Koordination des Güterflusses zwischen Quellen und Senken eines Supply Webs zu erfüllen. Die Beziehungen zwischen Industrie und Handel besitzen hingegen kompetitiven Charakter, wenn sich beide Antipoden darum bemühen, die wirtschaftlichen Vorteile eines erfolgreichen Supply Chain Managements durch Übernahme der Systemführerschaft in den Logistiknetzwerken weitgehend auf ihrer eigenen Seite zu konzentrieren. Auch hierfür finden sich derzeit etliche Beispiele auf Märkten für lang- und für kurzfristige Konsumgüter. Allerdings bestehen zwischen Konsumgüterherstellern, Handelsbetrieben und Speditionen derzeit noch erhebliche Kommunikationsbarrieren, weil sie mit stark divergierenden, historisch sehr unterschiedlich gewachsenen Begriffs-, Methoden- und Softwarewelten arbeiten. Dies beeinträchtigt sowohl den Aufbau von kooperativen Industrie- und Handelsnetzwerken als auch die kompetitive Durchsetzung einer logistischen Systemführerschaft entweder auf der Industrie- oder aber auf der Handelsseite. Branchenübergreifende Produktions- und Logistiknetzwerke werden sich daher um so leichter errichten lassen, je besser es gelingt, die Barrieren in der Informationslogistik zwischen Industrie- und Handelsunternehmen, gegebenenfalls auch Speditionsunternehmen, zu überwinden oder erst gar nicht entstehen zu lassen. Deshalb wird sich das Projekt vor allem der *informationslogistischen Integration* von Industrie-, Handels- und Speditionsunternehmen widmen. Hierbei soll eine Fokussierung auf Szenarien aus dem Bereich lang- oder kurzfristiger Konsumgüter erfolgen.
- *Anpassungsplanungen* (auch: „rescheduling“ oder „online scheduling“): Der Großteil der Planungskonzepte und -algorithmen, die in Betriebswirtschaftslehre und Operations Research für die Planung von Produktions- oder Logistikprozessen in der Aufgabenklasse des „scheduling“ behandelt werden, setzen einen statischen Planungskontext voraus. Dies bedeutet, daß sowohl die Produktions- bzw. die Transport-/Lager-/Kommissionieraufträge als auch die Ressourcen, mit denen jene Aufträge erfüllt werden sollen, als fest vorgegeben betrachtet werden. Derart

stabile Verhältnisse liegen in der betrieblichen Praxis jedoch oftmals nicht vor. Statt dessen kommt es oftmals zu unvorhergesehenen internen oder externen Störungen, wie z.B. zum Ausfall einer Bearbeitungsmaschine, zur Erkrankung einer Arbeitskraft, zum staubedingten Ausbleiben einer erwarteten Materialanlieferung, zur überraschenden Erteilung eines Eilauftrags oder zur unerwarteten Stornierung eines bereits eingeplanten Auftrags. Reizworte aus der betrieblichen Praxis wie „Flexible Fertigung“, „Produzieren in turbulenten Umfeldern“, „Agile Manufacturing“ und „Quick Response“ deuten an, daß sowohl Produktions- als auch Logistikunternehmen der Fähigkeit, auf solche Störungen effektiv und effizient reagieren zu können, großen wettbewerbsstrategischen Wert zumessen. Aus diesem Grund wird sich das Projekt auf kurzfristige Anpassungsplanungen in dynamischen Planungskontexten konzentrieren, die durch das häufige Auftreten solcher unvorhergesehenen Störungen gekennzeichnet sind.

1.2 Anwendungsebene des DFG-Schwerpunktprogramms

Aus der Perspektive des DFG-Schwerpunktprogramms „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ erstreckt sich das Projekt ONKAMAS mit seinem Gegenstandsbereich, der Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken, auf die *Anwendungsdomäne Fertigungslogistik*. Dabei wird der Fertigungsbegriff im Sinne des „modernerer“ produktionswirtschaftlichen Verständnisses so weit ausgelegt, daß zwar die Fertigung von Sachgütern (Konsumgütern) den Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet, aber die „Produktion von Dienstleistungen“ im Handels- und im Logistikbereich als gleichrangige Ergänzung hinzutritt.

Erst durch diese dienstleistungsbezogene Erweiterung des Fertigungsbegriffs gelingt es, die gesamte Koordinationsproblematik von Anpassungsplanungen in Supply Webs einzufangen. Um der Gefahr einer vorschnellen Einengung der Analyseperspektive vorzubeugen, werden die zu planenden Handels- und Logistikleistungen nicht auf den naheliegenden absatzseitigen Bereich der Konsumgüterdistribution beschränkt. Statt dessen werden von vornherein Supply Webs betrachtet, die ebenso die Beschaffungsseite umfassen, also auch den Handel mit und die Anlieferung von Vorprodukten (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Bauteile/Baugruppen, Komponenten u.ä.). Die „Fertigungslogistik“ wird infolgedessen so weit ausgelegt, daß sie neben der Sachgüterproduktion im „Zentrum“ eines Produktions- und Logistiknetzwerks auch die vorgelagerte Beschaffungs- und die nachgelagerte Absatzlogistik von Vor- bzw. Endprodukten sowie den Handel mit jenen Produkten umfaßt. Aus dieser erweiterten Perspektive ziehen es die Antragsteller vor, von einer Sachgüterlogistik in *Wertschöpfungsnetzwerken* zu sprechen.

Die Sachgüterlogistik stellt das „Substrat“ dar, auf dem das Projekt ONKAMAS aufbaut. Denn die realwirtschaftlichen Güterflüsse, die in einem Supply Web von Industrie-, Handels- und Speditionunternehmen auf der Objektebene realisiert werden, bilden nur den Ausgangspunkt, nicht aber das eigentliche Erkenntnisobjekt der Projektarbeiten. Vielmehr zielt die Projektidee auf die Koordination der verteilten Planungsaktivitäten autonomer Planungsträger in solchen Wertschöpfungsnetzwerken ab. Die Gestaltungsobjekte, mit denen sich das Projekt ONKAMAS befassen soll, sind somit *dispositive Aktivitäten autonomer Akteure* einschließlich der *Informationsflüsse*, die zwischen diesen Akteuren zwecks Koordination ihrer verteilten Planungsaktivitäten stattfinden. Damit wird aus ökonomischer Perspektive die Metaebene der betrieblichen Informationswirtschaft referenziert. Auf dieser Ebene bilden die dispositiven Aktivitäten der *einzelnen* Akteure nur den Anlaß, aber noch nicht die zentrale Problematik, die es näher zu erforschen gilt. Statt dessen steht die *Koordination* verteilter Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken im Fokus des hier verfolgten Gestaltungsinteresses. Sie erfolgt durch den Austausch von Informationen, also durch *Kommunikation* zwischen den verteilt planenden Akteuren. Daher werden sich die Projektarbeiten innerhalb der Anwendungsdomäne Fertigungslogistik in erster Linie mit dem Teilbereich der *Infor-*

informationslogistik auseinandersetzen. Hierbei wird, wie im voranstehenden Kapitel bereits erläutert, die informationslogistische *Integration* von Industrie-, Handels- und Speditionsunternehmen den Schwerpunkt der Untersuchungen bilden. Es geht also vornehmlich darum, die Schnittstellen – oder treffender ausgedrückt: die „Nahtstellen“ – in den Informationsflüssen zwischen den involvierten Industrie-, Handels- und Speditionsunternehmen so zu gestalten, daß eine sowohl effektive als auch effiziente Koordination kurzfristiger, störungsbedingter Anpassungsplanungen möglich wird.

Zur Erfüllung der zuvor skizzierten Koordinationsaufgabe läßt sich auf eine breite Palette von Koordinationsmechanismen für verteiltes Planen zurückgreifen, die seitens der VKI/DAI-Forschung (Verteilte Künstliche Intelligenz / Distributed Artificial Intelligence) im Rahmen des inhaltlich etwas weiter gefaßten verteilten Problemlösens entwickelt wurden. Auch die Antragsteller für das Projekt ONKAMAS haben sich in der Vergangenheit mit solchen Koordinationsmechanismen bereits intensiver befaßt.

Allerdings beruhen diese Koordinationsmechanismen auf der Präsupsposition, daß die Akteure, die in einem Produktions- und Logistiknetzwerk als verteilte Planungsträger agieren, eine gemeinsame Sprache verwenden. Andernfalls wäre es ihnen nicht möglich, die koordinationsrelevanten Informationen so untereinander auszutauschen, daß ihre Kommunikation im Sinne der gemeinsam angestrebten Leistungserstellung gelingt. Die betriebliche Praxis zeigt jedoch, daß diese Präsupsposition einer gemeinsamen sprachlichen Basis in der Realität oftmals verletzt ist. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die hier thematisierten Produktions- und Logistiknetzwerke, in denen sich *autonome* Planungsträger aus *unterschiedlichen* Unternehmen, sogar *unterschiedlichen* Branchen (Industrie, Handel, Speditionsgewerbe) zu einer *virtuellen* Einheit zusammengefunden haben.

In derart heterogen aufgebauten Wertschöpfungsnetzwerken kann nicht von einer „prästabilierten (sprachlichen) Harmonie“ zwischen den beteiligten Unternehmen und ihren Planungsträgern ausgegangen werden. Vielmehr existieren in der betrieblichen Wirklichkeit erhebliche Unterschiede in den Sprachen, die zu Planungszwecken verwendet werden. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die verwendeten Begriffe (Terminologie) als auch hinsichtlich der Bedeutungen, die mit den Begriffen seitens der Planungsträger assoziiert werden (Semantik). Die Gründe für solche terminologischen und semantischen Diskrepanzen können vielfältiger Natur sein. Zu den wichtigsten zählen:

- Gleiche Begriffe werden in unterschiedlichen Abteilungen desselben Unternehmens verschiedenartig verwendet (z.B. kann ein „Los“ Unterschiedliches bedeuten je nachdem, ob es ein Beschaffungs-, Produktions-, Transport- oder Distributionslos darstellt).
- Unternehmen, die sich auf derselben Wertschöpfungsstufe befinden (z.B. Konsumgüterproduzenten), pflegen verschiedenartige „Firmensprachen“. Dies kann auf historisch unterschiedlich gewachsenen Begriffstraditionen beruhen. Oftmals führen auch unterschiedliche Softwaresysteme zu eigenen „Sprachwelten“, weil sie ihren betrieblichen Anwendern eine systemspezifische Terminologie „nahelegen“.
- Besonders krasse Sprachdivergenzen bestehen zwischen Unternehmen, die auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen beheimatet sind. Dies trifft vor allem auf Industrie- und Handelsunternehmen zu, deren Branchensprachen oftmals erheblich voneinander abweichen.

Aus den vorgenannten Gründen bestehen in der betrieblichen Praxis häufig terminologische und semantische „Inseln“, die ein erfolgreiches verteiltes Planen in Netzwerken erheblich beeinträchtigen, wenn nicht gar von vornherein verhindern. Die Existenz solcher Inseln manifestiert sich in sprachlichen Inkompatibilitäten. Sie treten insbesondere in der Gestalt von homonymen und synonymen Begriffsverwendungen sowie Äquivokationen auf; aber auch begriffliche Unterbestimmtheit (Vagheit) und kontextabhängige Bedeutungsvarietät spielen im betrieblichen Alltag eine große Rolle.

Aufgrund der rechtlichen – und auch wirtschaftlichen – Autonomie, die den Unternehmen eines Wertschöpfungsnetzwerks zukommt, besteht zumindest zwischen diesen Unternehmen oftmals kein

effektiver Mechanismus, um einen terminologischen und semantischen Sprachstandard netzwerkweit durchzusetzen. Dadurch unterscheiden sich Wertschöpfungsnetzwerke der hier vorgestellten Art wesentlich von konventionellen Unternehmensgruppen, wie etwa Konzernen, in denen ein wirtschaftlich dominantes Gruppenmitglied einen Sprachstandard (z.B. als „Konzernsprache“) vorzuschreiben vermag.

Darüber hinaus kann noch ein „negativer Anreizmechanismus“ die sprachlichen Inkompatibilitäten verschärfen. Er droht immer dann, wenn ein Wertschöpfungsnetzwerk nicht auf Dauer angelegt ist. Denn in diesem Fall werden die Transaktionskosten für die Etablierung einer gemeinsam verwendeten Sprache – zumindest zu Planungszwecken¹⁾ – angesichts des begrenzten Netzwerkzusammenhalts oftmals als so hoch empfunden, daß die betrieblichen Entscheidungsträger von einer solchen informationswirtschaftlichen Investition ohne klar zuordbare Renditeerwartung zurückschrecken. Der eingangs erwähnte Trend zu Virtuellen Unternehmen, die so flexibel oder „agil“ ausgelegt sind, daß sie von vornherein nur als *temporäre* Kooperationen zur Erfüllung eines gemeinsamen Projekts dienen sollen, trägt wesentlich dazu bei, die Etablierung von netzwerkweiten Standards für Planungssprachen zu behindern. Insbesondere dann, wenn eine Unternehmensführung beabsichtigt, zur selben Zeit an mehreren unterschiedlichen Virtuellen Unternehmen zu partizipieren oder auch im Zeitablauf die Mitgliedschaften in Virtuellen Unternehmen rasch zu wechseln, bestehen nur geringe ökonomische Anreize, sich um terminologische und semantische Vereinheitlichung der verwendeten Planungssprachen zu kümmern.

Aufgrund der voranstehenden Überlegungen wird sich das Projekt ONKAMAS auf die sprachliche Ebene der **Kommunikation** von *koordinierungsrelevantem Wissen* konzentrieren. Das wesentliche Ziel des geplanten Vorhabens besteht darin, die Kommunizierbarkeit produktionswirtschaftlichen und logistischen Expertenwissens speziell im Kontext der kurzfristigen, störungsbedingten Anpassungsplanung in Produktions- und Logistiknetzwerken zu verbessern. Dadurch soll eine wesentliche *Voraussetzung* für die Implementierung wirkungsvoller operativer Koordinierungsmechanismen geschaffen werden. Es wird also weder die wissenschaftliche Interessantheit noch die wirtschaftliche Relevanz solcher Koordinierungsmechanismen in Frage gestellt. Statt dessen wird die Absicht verfolgt, die *praktische Anwendbarkeit* dieser Mechanismen, die von den oben erläuterten Defekten sprachlicher Art erheblich gefährdet wird, durch Beiträge zur Informationslogistik in Wertschöpfungsnetzwerken nachhaltig zu verbessern.

1) Die nachfolgenden Gedanken erstrecken sich nur auf *Planungssprachen*. Im Hinblick auf *Kommunikationssprachen*, die zur Kommunikation von oder über Planungswissen dienen, können die Verhältnisse anders liegen. Tendenziell wird sich auf der Kommunikationsebene aus ökonomischer Perspektive eher eine Etablierung von Standards rechtfertigen lassen, weil sie Planungsinnovationen keineswegs behindern. Vielmehr ist von standardisierten Kommunikationssprachen zu erwarten, daß sie Ressourcen freisetzen, die andernfalls für Abstimmungsprozesse über Kommunikationsschnittstellen und -protokolle gebunden wären. Diese freien Ressourcen lassen sich beispielsweise für Innovationen auf der Planungsebene nutzen.

2 Lösungskonzept

2.1 Ontologien

Das Projekt ONKAMAS geht von der Basisthese aus, daß Kommunikationsbarrieren in der Gestalt terminologischer und semantischer Inseln die praktische Anwendbarkeit von Mechanismen zur Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken be- oder gar verhindern können. Zur Überwindung dieser Barrieren, die sich der Kommunizierbarkeit produktionswirtschaftlichen und logistischen Expertenwissens in den Weg stellen, wird eine Rekonstruktion der sprachlichen Grundlagen des Planungswissens der verteilten Akteure mit der Hilfe von Ontologien angestrebt.

In der Literatur zur KI-Forschung und zur Wirtschaftsinformatik lassen sich zwar mehrere unterschiedliche Ontologiedefinitionen identifizieren. Immerhin zeichnet sich aber seit ca. 5 Jahren eine gewisse Konvergenz der Auffassungen über Ontologien ab: In zahlreichen Werken wird auf eine „Definition“ von GRUBER aus dem Jahr 1993 verwiesen. Ihr zufolge handelt es sich bei einer *Ontologie* um eine *explizite und formalsprachliche Spezifikation einer gemeinsam verwendeten Konzeptualisierung von Phänomenen der Realität*. Diesem Ontologieverständnis wird im Sinne einer Arbeitsdefinition auch hier gefolgt.

Unter einer *Konzeptualisierung* wird eine abstrakte Sichtweise auf Phänomene eines Realitätsausschnitts verstanden, der für vorgegebene Erkenntniszwecke von Interesse ist. Diese Erkenntniszwecke bestimmen, welche Aspekte der wahrgenommenen (sensorischer Aspekt) oder vorgestellten (kognitiver Aspekt) Phänomene für die erkennenden Subjekte relevant sind. Konzeptualisierung bedeutet daher immer zweck- und subjektabhängige Auszeichnung relevanter Realitätsaspekte. Das Ergebnis eines Konzeptualisierungsprozesses stellen die „Konzepte“ dar, mit denen der betrachtete Realitätsausschnitt hinsichtlich seiner für relevant erachteten Aspekte *vorstrukturiert* wird. Konzeptualisierung geht also immer mit einer erkenntnisprägenden Vorstrukturierung möglicher Realitätserfahrung einher. Da ihre Resultate, die Konzepte, im allgemeinen als sprachliche Konstrukte ausgedrückt werden, läßt sich Konzeptualisierung auch als eine *begriffliche* Vorstrukturierung möglicher Realitätserfahrung auffassen. Deshalb wird ein Vokabular (eine „Terminologie“), das Repräsentationsbegriffe zur Beschreibung realer Phänomene bereitstellt, oftmals als zentraler Bestandteil von Ontologien angesehen; mitunter werden Ontologien sogar mit solchen repräsentationalen Vokabularen gleichgesetzt.

Hinzu kommt aus der Perspektive eines „modernen“, von der KI-Forschung geprägten Ontologieverständnisses die Anforderung, Konzeptualisierungen möglicher Realitätserfahrung sollten nicht nur „irgendwie“ sprachlich verfaßt, womöglich sogar in unserer Alltagssprache implizit verborgen sein, sondern auf *explizite und formalsprachliche* Weise spezifiziert werden. Das neu aufkeimende Interesse an Ontologien läßt sich auf ein ambitiöses, von Teilen der KI-Forschung angestoßenes *Forschungsprogramm* zurückführen: Es erhebt den *Anspruch*, Realitätsausschnitte und die darin wahrgenommenen Phänomene in der Gestalt von zweck- und subjektabhängigen Ontologien so konzeptualisieren zu können, daß eine explizite und formalsprachlich verfaßte Spezifikation von Konzepten resultiert, die sich zur Realitätswahrnehmung oder -vorstellung benutzen lassen. Diese Art der Spezifikation erlaubt es, innerhalb von Ontologien mächtige Werkzeuge zur Analyse und Gestaltung des ontologisch rekonstruierten Wissens bereitzustellen. Dazu gehören insbesondere Inferenzregeln zur Explizierung impliziten Wissens und Integritätsregeln zur Wahrung oder Herbeiführung konsistenter Wissensbestände.

Jenseits dieses forschungsprogrammatischen Interesses an formalsprachlicher Explizierung kommt im hier betrachteten Kontext der Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken Ontologien eine große *praktische Relevanz* zu. Sie stellen das derzeit erfolgversprechendste Instrument dar, um die o.a. Kommunikationsbarrieren zwischen sprachlich unterschiedlich verfaßtem, inhaltlich nicht aufeinander abgestimmtem Expertenwissen der verteilten Pla-

nungsträger in einem Produktions- und Logistiknetzwerk zu überwinden. Denn die Rekonstruktion dieses Expertenwissens mittels expliziter und formalsprachlicher Ontologien ermöglicht den Einsatz von Werkzeugen, die sich – wie z.B. die bereits kurz erwähnten Inferenz- und Integritätsregeln – grundsätzlich dazu eignen, Inkompatibilitäten in den verteilten Wissensbeständen zu identifizieren. Darüber hinaus bilden sie die Grundlage für Instrumente, mit deren Hilfe sich die identifizierten Inkompatibilitäten entweder nachträglich heilen oder aber von vornherein vermeiden lassen. Darauf wird in Kürze unter dem Aspekt der Konsolidierung von Ontologien näher eingegangen.

2.2 Vorgehensweise

Um das Planungswissen, das für Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken eingesetzt wird, mittels Ontologien zu rekonstruieren, wird eine mehrstufige Vorgehensweise verfolgt.

Zunächst wird mit „klassischen“ Knowledge-Engineering-Techniken der Wissensakquisition und -repräsentation das „Individual“-Wissen erhoben, das von jedem einzelnen Planungsträger in einem Knoten eines Produktions- und Logistiknetzwerks im Rahmen seiner dispositiven Aktivitäten zur Prozeßplanung verwendet wird. Die Terminologie, die Syntax¹⁾ und die Semantik dieses aktorsabhängigen Planungswissens wird für jeden Netzwerkknoten mittels jeweils einer knotenspezifischen Ontologie (oder kurz: Knotenontologie) erfaßt. Alsdann wird das aktorsübergreifende Netzwerk-Wissen spezifiziert, das erforderlich ist, um die verteilten Planungsaktivitäten aller Akteure zu koordinieren, die in einem solchen Netzwerk an einer gemeinsamen Leistungserstellung arbeitsteilig zusammenwirken. Dieses Netzwerk-Wissen umfaßt im wesentlichen eine strukturelle Komponente, die über den Aufbau des Netzwerks informiert, sowie eine prozessuale Komponente, die Wissen über die Güter- und Informationsflüsse innerhalb des Netzwerks ausdrückt. Auch für das Netzwerk-Wissen wird eine Ontologie entwickelt, die hier als netzwerkspezifische Ontologie (oder kurz: Netzontologie) bezeichnet wird.

Um Kommunikationsbarrieren hinsichtlich der Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken zu überwinden, wird es voraussichtlich nicht erforderlich sein, die Knoten- und Netzontologien hinsichtlich aller terminologischen und semantischen Inkompatibilitäten zu „harmonisieren“. Vielmehr kann die Koordination von Anpassungsplanungen im Sinne der angestrebten gemeinsamen Leistungserstellung selbst dann noch gelingen, wenn die Planungsträger in ihren knotenspezifischen Ontologien teilweise unterschiedliche sprachlich vermittelte „Weltansichten“ pflegen. Eine solche ontologische Varietät bleibt unbeachtlich, solange das Erreichen des Koordinationsziels nicht gefährdet wird. Daher besteht eine zentrale und zugleich neuartige *Forschungsaufgabe* des Projekts ONKAMAS darin, *koordinationskritische Partialontologien* zu identifizieren. Dabei handelt es sich um jene Teile von Knoten- und Netzontologien, die im Falle von terminologischen oder semantischen Inkompatibilitäten zu *Kommunikationsstörungen* führen können, die ihrerseits ein Gelingen der Koordination von Anpassungsplanungen gefährden.

Nachdem die koordinationskritischen Partialontologien identifiziert wurden, stellt sich eine zweite und ebenso neuartige Herausforderung aus der Forschungsperspektive: Die Partialontologien müssen so aufeinander abgestimmt werden, daß die kommunikationsbe- oder -verhindernden Inkompatibilitäten entweder von vornherein ausgeschlossen oder aber zumindest nachträglich kompensiert

1) Zu einer Ontologie gehört zwar auch immer die syntaktische Dimension einer Sprache. Aber bisherige Erfahrungen mit der sprachlichen Rekonstruktion von Realitätswahrnehmungen oder -vorstellungen zeigen immer wieder, daß in syntaktischer Hinsicht kaum jemals gravierende Probleme bestehen. Daher wird hier bei der Erörterung von Ontologien deren syntaktische Komponente nur der Vollständigkeit halber einmal kurz erwähnt, im übrigen aber nicht weiter hervorgehoben.

werden. Diese Integrationsleistung wird als *Konsolidierung* von koordinationskritischen Partialontologien bezeichnet.

Die Konsolidierung von Partialontologien, die ein Gelingen der Koordination von Anpassungsplanungen trotz verteilter Planungsträger ermöglichen soll, wird im Regelfall nicht zu *einer* umfassenden, in sich geschlossenen „Super“-Ontologie führen. Dies liegt im hier verfolgten Ansatz begründet, die Varietät unterschiedlicher Knoten- und Netzontologien keineswegs generell beseitigen zu wollen, sondern nur dort einzudämmen, wo sie das Gelingen der Koordination von Anpassungsplanungen gefährdet. Dies entspricht dem Konzept der „shared ontologies“. Es geht von einer Pluralität zweck- und subjektabhängiger Ontologien aus, die nur dort aufeinander abzustimmen sind, wo es zur Erreichung gemeinsam verfolgter Ziele erforderlich ist.

Im Rahmen des Projekts ONKAMAS sollen zwei alternative Konsolidierungsstrategien sowohl hinsichtlich ihrer theoretischen Eigenschaften als auch im Hinblick auf ihre praktische Anwendbarkeit erforscht werden. Die erste Strategie erfordert eine *Korrektur* aller kommunikationsbeeinträchtigenden Inkompatibilitäten zwischen den jeweils betrachteten koordinationskritischen Partialontologien. Sie wird hier als erzwungene oder *interne Konsolidierungsstrategie* bezeichnet, weil die Inkompatibilitäten durch Eingriffe *in* die Partialontologien beseitigt werden. Die zweite Strategie verzichtet auf solche Eingriffe und setzt an deren Stelle *bedeutungserhaltende Übersetzungsmechanismen*, mit denen sich vormals inkompatible Begrifflichkeiten (terminologischer Aspekt) oder Interpretationen (semantischer Aspekt) aus zwei Partialontologien so ineinander transformieren lassen, daß das inhaltlich Gemeinte in beiden Partialontologien „äquivalent“ ausgedrückt wird. In die Partialontologien wird nicht mehr eingegriffen; statt dessen wird zwischen ihnen – „von außen“ – durch Übersetzungsmechanismen vermittelt. Daher wird von einer *externen Konsolidierungsstrategie* gesprochen. Sie bewirkt keine Beseitigung, sondern eine Kompensation vorhandener Inkompatibilitäten.

Welche der beiden Konsolidierungsstrategien zu bevorzugen ist, kann auf heutigem Kenntnisstand nicht beantwortet werden. Daher besteht *erheblicher Forschungsbedarf*, dem im hier vorgeschlagenen Projekt intensiv nachgegangen werden soll.

Auf den ersten Blick könnte die vollständige Eliminierung von Inkompatibilitäten durch die interne Konsolidierungsstrategie als überlegen empfunden werden. Zugunsten dieser Einstellung spricht, daß es „vernünftiger“ erscheinen mag, Fehler generell zu beseitigen, als sie lediglich zu kompensieren. Dieses Prima-facie-Argument übersieht jedoch, daß die interne Konsolidierung einen Standard für Planungssprachen auf terminologischer und semantischer Ebene erzwingt, der zumindest von allen koordinationskritischen Partialontologien erfüllt werden muß. Eine solche Standardisierung läuft jedoch der Autonomie der Planungsträger zuwider, die für die hier betrachteten Produktions- und Logistiknetzwerke so charakteristisch ist. Aus sprachwissenschaftlicher Perspektive würde es einen performativen Selbstwiderspruch bedeuten, *autonome* Planungsträger zu einer *Standardisierung* der (Partial-)Ontologien ihres Planungswissens *zwingen* zu wollen (daher war oben von einer erzwungenen Konsolidierungsstrategie die Rede). Darüber hinaus würde ein solcher Standardisierungszwang auf der Planungsebene auch der eingangs skizzierten Dynamik von Virtuellen Unternehmen, Agile Manufacturing, Produzieren in turbulenten Umfeldern und ähnlichen Vorstellungen widersprechen. Denn sie stimmen darin überein, als einzig Beständiges den steten Wandel zu proklamieren. Standards für Planungssprachen bedeuten hingegen die Verfestigung des Status-quo und können sich daher innovationsfeindlich verhalten.

Aus den vorgenannten Gründen wäre die externe Konsolidierungsstrategie vorzuziehen, weil sie keine Standardisierung von (Partial-)Ontologien erzwingt. Statt dessen läßt sich vorstellen, Übersetzungsmechanismen zwischen Ontologien jeweils flexibel anzupassen, wenn sie die Ontologien verändern oder neue Ontologien hinzukommen. Allerdings sieht sich die externe Konsolidierungsstrategie mit zwei anderen Problemen konfrontiert, für die bislang keine zufriedenstellenden Lösungen existieren. Erstens ist derzeit keine Konstruktionsmethodik für ontologische Übersetzungsmechanismen bekannt. Ihre Konstruktion bleibt letztlich auf „kreatives Ausprobieren“ verwiesen. Es kön-

nen sogar begründete Zweifel erhoben werden, ob sich die intendierten Übersetzungsmechanismen überhaupt gewinnen lassen. Zweitens bestehen erhebliche wissenschaftstheoretische Vorbehalte gegenüber der – oben noch nicht problematisierten – Anforderung, es müsse sich um bedeutungserhaltende Übersetzungsmechanismen handeln. Denn diese Anforderung läuft so lange ins Leere, wie kein operationales Kriterium für die Bedeutungsgleichheit zweier sprachlicher Konstrukte angegeben wird. Aus theoretischer Perspektive vermuten die Verfasser, daß es nicht gelingen wird, ein präzises Kriterium zu formulieren. Wissenschaftstheoretische Erkenntnisse hinsichtlich der Unbestimmtheit von Übersetzungen (zwischen Theorien) und der doppelten ontologischen Relativität (von Theorien) begründen diesen theoretischen Pessimismus. Trotz dieser irreduziblen theoretischen Übersetzungsunbestimmtheit kann es in praktischen Kommunikationssituationen oftmals dazu kommen, daß die Kommunikationspartner eine Übersetzung zwischen ihren Sprachwelten für gelungen erachten. Daher gilt es im Rahmen der externen Konsolidierungsstrategie, nach hinreichenden oder notwendigen Bedingungen zu forschen, unter denen eine Übersetzung zwischen zwei Ontologien als „praktisch“ bedeutungserhaltend akzeptiert wird.

Ein Ansatz, das zuvor skizzierte Problem von Kriterien für bedeutungserhaltende Übersetzungsmechanismen zu lösen, soll anhand einer Art *Benchmarking* näher untersucht werden. Dabei kann es sich jedoch nicht um ein Benchmarking im konventionellen betriebswirtschaftlichen Sinne handeln, bei dem die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Lösungskonzepte für gleichartige Probleme mittels präzise bestimmter Kennzahlen ermittelt wird. Diese rein quantitative Vorgehensweise verbietet sich auf der Ebene von Ontologien, weil das darin spezifizierte Planungswissen großenteils qualitativ, vor allem auch natürlichsprachlichen Charakter besitzt. Statt dessen sollen hier Implementierungen von Koordinationskonzepten für Anpassungsplanungen als „Benchmarks“ dienen. Eine solche Konzeptimplementierung läßt sich als Benchmark verwenden, wenn von ihr bekannt ist, daß sie ein Erreichen des Koordinationsziels – also der gemeinsamen Leistungserstellung – gewährleistet, *sofern* sie in einer Planungsumgebung eingesetzt wird, in der alle Planungsträger auf *dieselbe* Ontologie für ihr Planungswissen zurückgreifen. Wenn es nun gelingt zu zeigen, daß eine solche Benchmark-Konzeptimplementierung auch dann noch das Erreichen des Koordinationsziels sicherstellt, wenn sie in einer Planungsumgebung mit (nicht-leeren) *koordinationskritischen Partialontologien* eingesetzt wird, zwischen denen Übersetzungsmechanismen vermitteln, so haben die Übersetzungsmechanismen offensichtlich im Sinne des intendierten Koordinationsziels korrekt funktioniert.

Zwar ist diese Art der Funktionskorrektheit nicht identisch mit der Bedeutungserhaltung bei Übersetzungen. Denn auch bei übersetzungsbedingten Bedeutungsverzerrungen kann es weiterhin zum Erreichen des Koordinationsziels kommen. Dazu reicht es aus, daß sich die Übersetzungsfehler in ihrer Gesamtheit nicht auf das Erreichen des Koordinationsziels auswirken. Dies würde aus pragmatischer Perspektive vollkommen ausreichen, um von einem Gelingen der Übersetzung zwischen den koordinationskritischen Partialontologien zu sprechen, auch wenn aus theoretischer Perspektive die Bedeutungserhaltung der Übersetzungsmechanismen keineswegs gesichert ist. Da sich das Projekt ONKAMAS mit der Überwindung von Kommunikationsbarrieren bei der Koordination von Anpassungsplanungen in der betrieblichen Praxis befaßt, wird es als ausreichend erachtet, einen solchen *praktisch anwendbaren* Maßstab (Benchmark) für das Gelingen von Übersetzungen bei der Anwendung der externen Konsolidierungsstrategie zu entwickeln. Dies gilt zumindest im Sinne eines „Faute-de-mieux“-Arguments, d.h. solange keine besserstellende Alternative in Aussicht steht.

Schließlich sollen die Ergebnisse der Ontologienintegration, die sich mit den zuvor erläuterten Konsolidierungsstrategien erzielen lassen, um *Referenzmodelle* für diejenigen *Informations- und Prozeßstrukturen* erweitert werden, die zur Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken erforderlich sind. Entsprechend der Vorgehensweise bei der Ontologienintegration, die sich auf die koordinationskritischen Partialontologien fokussierte, wird sich auch die Referenzmodellierung für die vorgenannte Anwendungsdomäne auf die *koordinationsrelevanten* Informations- und Prozeßstrukturen konzentrieren. Aufgrund dieser Einschränkung des Modellie-

rungsbereichs wird es möglich sein, Referenzmodelle für Anwendungsszenarien realistischer Größenordnung zu entwickeln.

Sowohl die Erstellung der Referenzmodelle als auch die Konstruktion der darin eingebetteten Ontologien für die Koordination von Anpassungsplanungen sollen in Zusammenarbeit mit *Partnern aus der Wirtschaftspraxis* erfolgen. Auf diese Weise wird Sorge dafür getragen, daß Referenzmodelle und Ontologien nicht für idealtypisch vereinfachte und praxisferne Anwendungsfälle entwickelt werden. Zugleich wird aber auch darauf geachtet, keine anwendungsspezifischen Einzellösungen für die Koordinationsprobleme der Praxispartner zu generieren. Vielmehr sollen die Erkenntnisse, die aus der Zusammenarbeit mit den Praxispartnern hervorgehen, zu anwendungsunabhängigen, *generischen* Ontologien und Referenzmodellen verallgemeinert werden.

Diese generischen Ontologien und Referenzmodelle stellen die Entwicklungsergebnisse dar, auf die sich die abschließende **Evaluierung** des Projekterfolgs erstrecken wird. Für diesen Zweck soll ein Katalog von operationalen Evaluierungskriterien entwickelt werden. Für das Anwendungsszenario, das dem Projekt ONKAMAS zugrunde liegt, bieten sich zumindest folgende Evaluierungskriterien an:

- Anwendungsbreite: Ausmaß der Verschiedenartigkeit des Planungswissens, das von den Mitgliedern eines Produktions- und Logistiknetzwerks geteilt werden kann, ohne die Erreichung des Koordinationsziels von Anpassungsplanungen zu gefährden (Aspekt des „knowledge sharing“);
- Wiederverwendbarkeit: Ausmaß der Möglichkeiten, unveränderte Ontologien und Referenzmodelle in verschiedenartigen Anwendungssituationen – insbesondere bei Mitgliedschaften in unterschiedlichen Produktions- und Logistiknetzwerken – für die Koordination von Anpassungsplanungen einzusetzen (Aspekt des „knowledge reuse“);
- Allgemeinheit: Gültigkeit der Ontologien und Referenzmodelle für eine möglichst große Klasse von Unternehmen oder gar Branchen;
- Anpaßbarkeit (Adaptibilität / Flexibilität): Möglichkeiten, generische Ontologien und Referenzmodelle mittels Customizing / Tailoring an die Besonderheiten individueller Einsatzumgebungen anzupassen;
- Natürlichkeit (Transparenz): Eigenschaft von Ontologien und Referenzmodellen, von ihren betrieblichen Nutzern, die in der Regel über keine tiefen Informatikkenntnisse verfügen, mittels ihres „gesunden Menschenverstandes“ nachvollzogen werden zu können – dies ist beispielsweise eine wichtige Voraussetzung für die praktische Akzeptanz des betrieblichen Einsatzes von Ontologien und Referenzmodellen.

Die voranstehend aufgelisteten Kriterien sollen im Verlauf des Projekts durch Meßvorschriften operationalisiert und erforderlichenfalls vervollständigt werden. Darüber hinaus gilt es auch, mögliche (Inter-)Dependenzen zwischen solchen Evaluierungskriterien aufzudecken. So liegt es z.B. nahe, daß die Allgemeinheit von Ontologien und Referenzmodellen deren Anwendungsbreite positiv beeinflusst.

2.3 Implementierung – die technologische Ebene des DFG-Schwerpunktprogramms

Das Anwendungsszenario des Projekts ONKAMAS betrifft die ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken. Die Planungsaktivitäten sind hierbei auf mehrere *autonome* Planungsträger in den Knoten des Netzwerks *verteilt*. Daher entspricht diese verteilte Planungsaufgabe auf „natürliche“ Weise dem Konzept des verteilten Problemlösens durch *Multi-Agenten-Systeme*. Aus diesem Grund soll die ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen mit Hilfe eines computergestützten Multi-Agenten-Systems prototypisch implementiert werden. Mit Hilfe dieses Multi-Agenten-Systems wird angestrebt, die praktische Anwendbarkeit von Ontologien (und Referenzmodellen) zur Überwindung von Kommunikationsbarrieren bei verteilten Planungsaufgaben zu demonstrieren und zugleich kritisch zu beurteilen. Die prototypische Implementierung in der Gestalt eines Multi-Agenten-Systems dient somit der Evaluierung des ontologiebasierten Koordinationsansatzes, der im Rahmen des Projekts ONKAMAS erforscht werden soll.

Das Konzept der Multi-Agenten-Systeme ist so allgemein angelegt, daß es sich bei seinen Agenten sowohl um menschliche als auch um maschinelle Akteure handeln kann. Die Ontologien, mit deren Gestaltung sich das hier vorgestellte Projekt befaßt, legen es aufgrund ihrer formalsprachlichen Explikation von Planungswissen jedoch nahe, als Agenten grundsätzlich Softwaremodule zu unterstellen („Softwareagenten“). Darüber hinaus lassen sich die Inferenz- und Integritätsregeln, die zur „Werkzeug-Ausrüstung“ von Ontologien zählen, nur mittels solcher Softwareagenten wirkungsvoll implementieren. Bei diesen Agenten handelt es sich um „intelligente“ Softwareagenten im Sinne des DFG-Schwerpunktprogramms. Sie zeichnen sich u.a. durch ihr reichhaltiges domänenspezifisches Wissen über Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken aus. Hinzu kommen noch domänenunabhängige Problembearbeitungskomponenten, wie z.B. Inferenzmaschinen sowie – als Indikatoren „sozialer Intelligenz“ – Kommunikations- und Verhandlungsprotokolle.

Auf der Ebene der *Technologie intelligenter Softwareagenten* soll im Rahmen des Projekts ONKAMAS ein prototypisches Multi-Agenten-System zur Implementierung des Konzepts ontologiebasierter Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken entwickelt werden. Wesentliche Aspekte dieses Implementierungsvorhabens werden nachfolgend der Kürze halber aufgelistet:

- Die ontologiebasierten Referenzmodelle, die für die Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken aus der Anwendungssicht erarbeitet werden, sollen in einem Multi-Agenten-System implementiert werden. Dieses Multi-Agenten-System wird auch Mechanismen für die Koordination von Agentenaktivitäten umfassen. Seitens des Technologiepartners wurden in Vorarbeiten bereits mehrere Koordinationsmechanismen implementiert; erforderlichenfalls sollen im Rahmen des hier vorgestellten Projekts auch noch neue Varianten ergänzt werden. Das Multi-Agenten-System wird derart umfassend ausgestattet, um es als eine *Simulationsumgebung* – als „Testbett“ – für die Koordination von Anpassungsplanungen in Szenarien für verteiltes Planen nutzen zu können. Auf diese Weise wird es möglich, simulativ zu testen, ob sich die entwickelten Ontologien (und Referenzmodelle) tatsächlich dazu eignen, auf ihrer Basis effektive Koordinationsmechanismen für verteiltes Planen zu realisieren. Darüber hinaus lassen sich in der Simulationsumgebung des Multi-Agenten-Systems diejenigen Implementierungen von Koordinationskonzepten für Anpassungsplanungen studieren, die oben als denkmögliche Benchmarks für bedeutungserhaltende Übersetzungsmechanismen eingeführt wurden. Schließlich soll das Multi-Agenten-System generell dazu dienen, die Evaluierung der (implementierten) Ontologien und der darauf aufbauenden (implementierten) Referenzmodelle anhand von Kriterien zu *evaluieren*, für die am Ende des vorangehenden Kapitels einige Beispiele angeführt wurden.

- Das Multi-Agenten-System soll neben gewöhnlichen, ortsfesten Agenten auch *mobile* Agenten umfassen. Dadurch wäre es möglich, daß sich Agenten nicht nur durch den Austausch von Nachrichten die für sie erforderlichen Informationen von anderen Agenten besorgen. Darüber hinaus wäre es auch möglich, daß sich Agenten selbst zum Ort der unmittelbaren Verfügbarkeit der von ihnen benötigten Informationen bewegen. In diesem Zusammenhang soll vor allem untersucht werden, inwieweit durch mobile Agenten die bisher bekannten Koordinationsmechanismen erweitert werden können. Die Idee ist dabei, die realen Güterflüsse zwischen Produzenten, Händlern, Spediteuren und Konsumenten durch mobile Pull- und Push-Agenten zu unterstützen, die nachfrage- bzw. angebotsseitig solche Güterflüsse initiieren (vgl. Abbildung 1). Insbesondere gilt es zu erforschen, ob der Transport von „komplexeren“ Agenten anstelle des Transports von „einfacheren“ Nachrichten entlang der Verbindungslinien eines Kommunikationsnetzwerks zu Effektivitäts- oder Effizienzgewinnen führen kann. Beispielsweise ließe sich aus der Perspektive der „Daten“-Sicherheit vorstellen, daß es Unbefugten schwerer fällt, den Informationsgehalt transportierter Agenten in Erfahrung zu bringen, als den Inhalt einer Nachricht zu entschlüsseln. Im Hinblick auf die Mobilität von Agenten in Multi-Agenten-Systemen stellt sich eine breite Palette solcher Forschungsaufgaben, die im hier angeregten Projekt vertieft werden sollen.
- Mittels einer Annotations-Technik soll es möglich sein, systematische Verknüpfungen zwischen Ontologien für koordinationsrelevantes Planungswissen einerseits und natürlichsprachlichen, *internetfähigen* Dokumenten (auf HTML- oder XML-Standard) andererseits herzustellen. Für diese Anforderung spricht, daß sich Internet-Technologien auch in der betrieblichen Praxis – zumeist in der Gestalt von innerbetrieblichen Intranets oder von überbetrieblichen, für geschlossene Benutzergruppen vorbehaltenen Extranets – durchzusetzen beginnt. Daher ist damit zu rechnen, daß schon in naher Zukunft ein Großteil des koordinationsrelevanten Planungswissens in der Form solcher Internet-Dokumente vorliegen wird. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Virtuelle Unternehmen und andere Unternehmensnetzwerke, die für die Kommunikation über ihre Unternehmensgrenzen hinweg immer stärker auf Internet-Technologien als „Quasi-Standard“ zurückgreifen.
- Die Repräsentation des Planungswissens der Agenten soll möglichst wenig von Standards abweichen, die sich in jüngerer Zeit im Rahmen des Knowledge-Level-Engineerings für Zwecke der *inhaltsorientierten* Wissensrepräsentation herausgebildet haben. Dazu gehört vor allem KIF (Knowledge Interchange Format), das von der Interlingua Group an der University of Stanford entwickelt wurde.
- Für die Kommunikation zwischen den Agenten soll ebenso auf etablierte Standards zurückgegriffen werden, wie insbesondere KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) und FIPA-ACL (Foundation for Intelligent Physical Agents / Agent Communication Language).

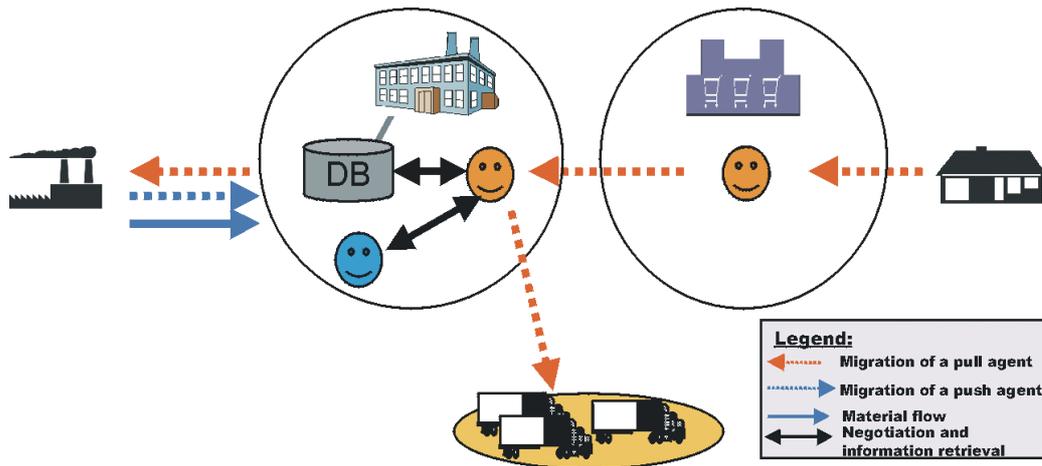


Abbildung 1: Mobile Pull- und Push-Agenten in einem Produktions- und Logistiknetzwerk

Der Technologiepartner des Tandemantrags für das Projekt ONKAMAS hat seit dem Jahr 1991 einschlägige Kompetenz in der prototypischen Erstellung computergestützter Multi-Agenten-Systeme erworben. Im Vordergrund der Entwicklungsarbeiten standen bislang folgende Anwendungsdomänen (vgl. Abbildung 2):

- Flottenmanagement in geographisch verteilten Speditionen (Projekt „TeleTruck“),
- Flexible Fertigungssysteme,
- Banking und Electronic Commerce im Handelsumfeld.

Durch den immer stärker werdenden Einsatz des Internet und des World Wide Web (WWW) wurde ein neues Forschungsgebiet induziert, das sich mit Virtuellen Unternehmen in den vorgenannten Anwendungsszenarien beschäftigt.

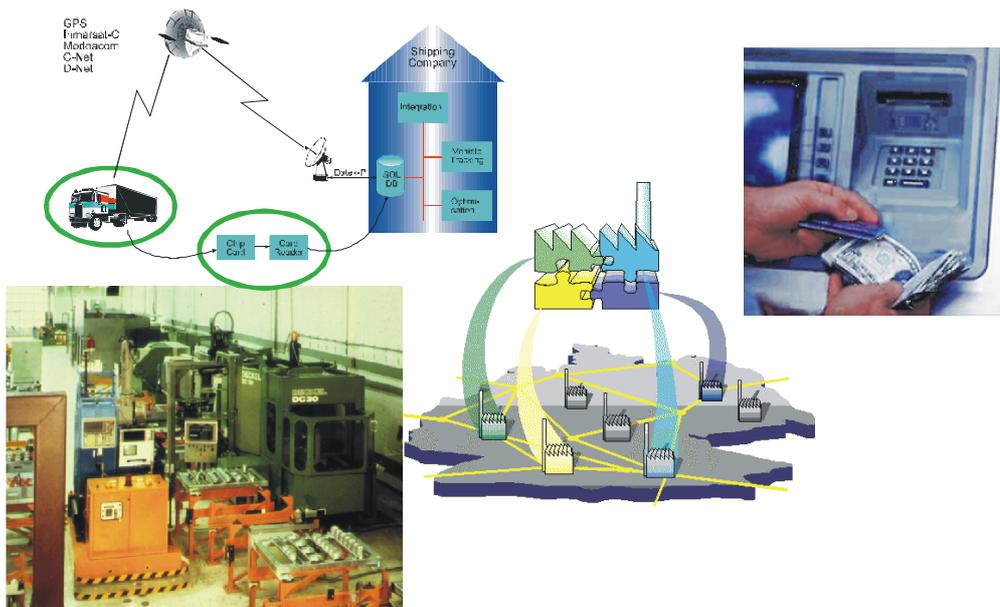


Abbildung 2: Anwendungsszenarien der prototypischen Multi-Agenten-Systeme des Technologiepartners

Die vorgenannten Kernkompetenzen des Technologiepartners stimmen in weitem Ausmaß mit demjenigen Kompetenzprofil überein, das für eine erfolversprechende Implementierung des Konzepts einer ontologiebasierten Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken erforderlich erscheint. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die bereits bearbeiteten Bereiche der Flexiblen Fertigungssysteme (stellvertretend für Produktionsunternehmen), des Handels und des Speditionsgewerbes. Selbst Basistechnologien zur Unterstützung von Managementaufgaben in Virtuellen Unternehmen waren schon Gegenstand praktischer Entwicklungsarbeiten. Darüber hinaus schälte sich bei den prototypischen Implementierungen von Multi-Agenten-Systemen in den vorgenannten Anwendungsdomänen die Erkenntnis heraus, daß Technologien für intelligente Softwareagenten bevorzugt für die *Koordination von räumlich verteilten Einheiten* geeignet sind. Genau dieser Koordinationskontext liegt dem neuen Projekt ONKAMAS zugrunde: Auch hier gilt es, die dispositiven Aktivitäten von Planungsträgern zu koordinieren, die zu verschiedenen Unternehmen eines Produktions- und Logistiknetzwerks gehören und somit auf natürliche Weise räumlich verteilt sind.

Allerdings besteht trotz der einschlägigen Vorarbeiten auch auf der Technologieebene intelligenter Softwareagenten und daraus zusammengesetzter Multi-Agenten-Systeme noch weiterführender Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der im Projekt ONKAMAS gedeckt werden soll. Diese Technologielücken erstrecken sich im wesentlichen auf zwei Aspekte.

Einerseits wurden vom Technologiepartner bislang nur prototypische Implementierungen für jeweils einzelne *Komponenten* aus dem oben geschilderten Konzept zur Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken durchgeführt. Beispielsweise wurde ein Multi-Agenten-System zur Koordination der Produktionsprozesse in einem Flexiblen Fertigungssystem und ein anderes Multi-Agenten-System zur Unterstützung der Transportdispositionen (Tourplanung) im Speditionsgewerbe entwickelt. Es fehlt aber bisher eine „horizontale“ *Integration* dieser Komponenten in einem umfassender ausgelegten Multi-Agenten-System, das die Planungskoordination in einem unternehmens- und branchenübergreifenden Produktions- und Logistiknetzwerk zu leisten vermag. Diese Weiterentwicklung soll innerhalb des Projekts ONKAMAS erfolgen.

Andererseits verfügt der Technologiepartner derzeit noch nicht über eine Softwareumgebung zur computergestützten Implementierung von Ontologien. Da Ontologien eine der vielversprechendsten Basistechnologien zur Überwindung von Kommunikationsbarrieren innerhalb verteilter Planungssysteme darstellen, besteht in dieser Hinsicht ein deutliches Interesse, die *technologische Lücke im Hinblick auf Ontologien* zu schließen. Allerdings wäre es weder forschungspolitisch noch ökonomisch wünschenswert, grundsätzlich jede Technologielücke durch aufwendige Eigenentwicklungen zu schließen. Dies bedeutete – salopp formuliert – die Gefahr, „das Rad immer wieder aufs Neue zu erfinden“. Um den Fehler unnötiger Parallel- oder gar Wiederholentwicklungen zu vermeiden, soll im Projekt ONKAMAS zweistufig verfahren werden.

Auf der ersten Stufe ist zu prüfen, ob sich bereits entwickelte Technologien auf dem Gebiet computergestützter Ontologien in die Multi-Agenten-System-Umgebung des Technologiepartners integrieren lassen. Aufgrund der oben erwähnten Vorentscheidung, die Ontologien zur Koordination von Anpassungsplanungen so auszulegen, daß sich mittels einer Annotations-Technik systematische Verknüpfungen zu internetbasierten Dokumenten (auf HTML- oder XML-Standard) herstellen lassen, liegt es nahe, nach internetbasierter Ontologie-Technologie Ausschau zu halten. Dies ist während der Vorarbeiten zum Projekt ONKAMAS bereits geschehen. Im deutschsprachigen Raum stellt derzeit die Ontobroker-Technologie die ausgereifteste und auch – vor allem hinsichtlich ihrer leistungsfähigen Inferenzkomponente – interessanteste Technologie für internetbasierte Ontologien dar. Sie wurde unter der Leitung von Herrn Professor STUDER am Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) der Universität Karlsruhe entwickelt und befindet

sich auch derzeit noch in vielversprechender Fortentwicklung¹⁾. Herr Professor STUDER war schon so zuvorkommend, seine grundsätzliche Bereitschaft zu signalisieren, seine Ontobroker-Technologie im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms auch anderen Projektgruppen zugänglich zu machen.

Allerdings muß innerhalb des Projekts ONKAMAS vom Technologiepartner eingehender geprüft werden, ob sich seine Technologie für Multi-Agenten-Systeme und die Ontobroker-Technologie des AIFB tatsächlich zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem integrieren lassen. Integrationsprobleme können beispielsweise dadurch auftreten, daß die Wissensrepräsentationen in beiden Technologien auf unterschiedlichen, nicht unmittelbar kompatiblen Basiskonzepten beruhen (Description Logic versus Frame Logic). Diese technologischen Details bedürfen noch einer näheren Untersuchung während der Projektdurchführung. Für den Fall, daß sich gravierende Inkompatibilitäten herausstellen, ist auf einer zweiten Stufe vorgesehen, nach alternativen Technologien für die computergestützte Implementierung von Ontologien zu suchen. Nur dann, wenn sich diese Suche als erfolglos erweisen sollte, ist eine Eigenentwicklung von Software zur Implementierung von Ontologien seitens des Technologiepartners vorgesehen.

1) Die Arbeitsgruppe von Herrn Professor STUDER wird voraussichtlich – gemeinsam mit einem Tandem-Partner – ebenso ein Projekt für das DFG-Schwerpunktprogramm „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ anregen. Daher besteht die begründete Aussicht, in projektübergreifender Weise auf dem Gebiet computergestützter Ontologien im Rahmen des Schwerpunktprogramms zusammenzuarbeiten (vorbehaltlich der positiven Begutachtung beider Tandem-Anträge).

3 Angaben zu den Antragstellern

Das Forschungsprojekt ONKAMAS über die „Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen“ wird in einem „Tandem“ aus zwei Antragstellern beantragt werden. Der eine Antragsteller bringt seine Anwendungskompetenz auf dem Gebiet produktionswirtschaftlicher und logistischer Planungsaufgaben in die Kooperation ein („Anwendungspartner“), während der andere Antragsteller eine besondere Technologiekompetenz auf dem Gebiet der Implementierung computergestützter Multi-Agenten-Systeme besitzt („Technologiepartner“).

Diese Kennzeichnung der zwei Kooperationspartner stellt jedoch nur eine unvollständige und grobe Charakterisierung ihrer Kompetenzen dar. Denn beide Mitglieder des „Tandems“ besitzen auch Erfahrungen im Kompetenzschwerpunkt ihres Partners. So verfügt der Technologiepartner ebenso über Fachwissen in denjenigen Anwendungsdomänen, für die er schon in der Vergangenheit Multi-Agenten-Systeme entwickelt hat (siehe oben). Auch der Anwendungspartner hat bereits auf dem Gebiet der Multi-Agenten-Systeme geforscht, insbesondere im Hinblick auf marktanaloge Koordinationsmechanismen. Aufgrund dieser nachgeordneten „Überkreuzkompetenzen“ besteht die begründete Aussicht, daß es zwischen den Tandempartnern zu einer intensiven fachlichen Kooperation und wechselseitigen Befruchtung sowohl in anwendungs- als auch in technologiebezogener Hinsicht kommen wird.

4 Literaturhinweise (Draft):

- ARNOLD, O., FAISST, W., HÄRTLING, M., SIEBER, P.: Virtuelle Unternehmen als Unternehmenstyp der Zukunft? In: Handbuch der modernen Datenverarbeitung – Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik, Band 185, Heidelberg 1995, S. 8-23.
- BEAMON, B.M.: Supply chain design and analysis: Model and methods, *International Journal of Production Economics*, 55 (1998), S. 281-294.
- BIRD, S.D.: Conceptualizing a shared language subsystem for distributed decision support systems, *Decision Support Systems*, 19 (1997), S. 227-235.
- BRETZKE, W.-R.: Industrie- versus Handelslogistik. Der Kampf um die Systemführerschaft in der Konsumgüterdistribution, *Logistik Management*, 1 (1999) 2, S. 81-95.
- CERONI, J.A., MATSUI, M., NOF, S.Y.: Communication-based coordination modeling in distributed manufacturing systems, *International Journal of Production Economics*, 60-61 (1999), S. 281-287.
- FENSEL, D., DECKER, S., ERDMANN, M., STUDER, R.: Ontobroker: The Very High Idea. In: Proceedings of the 11th International Flairs Conference (FLAIRS'98), Sanibal Island 1998, S. 131-135.
- FISCHER, K., MÜLLER, J. P., PISCHEL, M.: Cooperative Transportation Scheduling: an Application Domain for DAI, *Journal of Applied Artificial Intelligence*, Special Issue on Intelligent Agents, 10 (1996) 1, S. 1-33.
- FISCHER, K.: Agent-Based Design of Holonic Manufacturing Systems, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 27 (1999), S. 3-13.
- FOX, M.S., GRÜNINGER, M.: Ontologies for Enterprise Modelling. In: Kosanke, K., Nell, J.G. (Hrsg.): Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus, Proceedings of the ICEIMT '97, Berlin - Heidelberg - New York et al. 1997, S. 190-200.
- GNIRKE, K.: Internationales Logistikmanagement: Strategische Entwicklung und organisatorische Gestaltung der Logistik transnationaler Produktionsnetzwerke, Wiesbaden 1998.
- GRUBER, T.R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL 92-71, Computer Science Department, Stanford University, Stanford 1993 (revised version vom April 1993, Original vom September 1992); auch erschienen in: *Knowledge Acquisition*, 5 (1993) 2, S. 199-220.
- GRUBER, T.R.: Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing, Technical Report KSL 93-04, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, Stanford 1993.
- GUARINO, N.: Understanding, Building, And Using Ontologies, *International Journal of Human-Computer Studies*, 46 (1997) 2/3, S. 293-310.
- HADJICONSTANTIOU, E. (Hrsg.): Quick Response in the Supply Chain, Berlin - Heidelberg - New York et al. 1998.
- HO, J.K.-K.: What can contemporary systems thinking offer to logistics management as a management discipline, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 3 (1997) 2, S. 77-81.
- JENNINGS, N.R.: Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions, *Artificial Intelligence*, 75 (1995), S. 195-240.

- KRAUS, S.: Negotiation and cooperation in multi-agent environments, *Artificial Intelligence*, 94 (1997), S. 79-97.
- LE BER, F., CHOUVET, M.-P.: An agent-based model for domain knowledge representation, *Data & Knowledge Engineering*, 29 (1999), S. 147-161.
- LEMAITRE, C., EXCELENTE, C.B.: Multi-agent network for cooperative work, *Expert Systems with Applications*, 14 (1998), S. 117-127.
- MEARS-YOUNG, B., JACKSON, M.C.: Integrated Logistics – Call in the Revolutionaries, *Omega*, 25 (1997) 6, S. 605-618.
- O'LEARY, D.E., KUOKKA, D., PLANT, R.: Artificial Intelligence and Virtual Organizations, *Communications of the ACM*, 40 (1997) 1, S. 52-59.
- RAULEFS, P.: The Virtual Factory. In: Brannstein, K., Raubold, E. (Hrsg.): 13th World Computer Congress, Band 2, Amsterdam 1994, S. 18-38.
- SATAPATHY, G., KUMARA, S.R.T., MOORE, L.M.: Distributed intelligent architecture for logistics (DIAL), *Expert Systems with Applications*, 14 (1998), S. 409-424.
- SLATS, P.A., BHOLA, B., EVERS, J.J.M., DIJKHUIZEN, G.: Logistic chain modelling, *European Journal of Operational Research*, 87 (1995), S. 1-20.
- USCHOLD, M., GRUNINGER, M.: Ontologies: principles, methods and applications, *The Knowledge Engineering Review*, 11 (1996) 2, S. 93-136.
- ZELEWSKI, S.: Elektronische Märkte zur Prozeßkoordinierung in Produktionsnetzwerken, *Wirtschaftsinformatik*, 39 (1997), S. 231-243.
- ZELEWSKI, S.: Auktionsverfahren zur Koordinierung von Agenten auf elektronischen Märkten. In: Becker, M.; Kloock, J.; Schmidt, R.; Wäscher, G. (Hrsg.): Unternehmen im Wandel und Umbruch, Stuttgart 1998, S. 305-337.
- ZELEWSKI, S.; SCHÜTTE, R.; SIEDENTOPF, J.: Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen – Ein Annäherungsversuch aus betriebswirtschaftlicher Perspektive –, Vortrag anlässlich der Tagung „Wissen, Wissensmanagement, Wissenschaftstheorie“ der Wissenschaftlichen Kommission Wissenschaftstheorie im Hochschullehrerverband für Betriebswirtschaftslehre e.V., 16.-17.06.1999 in Berlin, Arbeitsbericht Nr. 3, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement der Universität-GH Essen, Essen 1999 [in der zur Tagung eingereichten Form auch unter folgender URL verfügbar: <http://www.wiwiss.fu-berlin.de/w3/w3schrey/KOMWIS/Index.htm>].