

Thema:

**Einsatz von Softwareagenten im Supply Chain Management**

**Ausarbeitung**

im Rahmen des Seminars *Ausgewählte Themen aus Agentensysteme*

im Fachgebiet Informationssysteme  
am Institut für Informatik, Arbeitsbereich Prof. Dr. Lippe

Themensteller: Dr. Dietmar Lammers

Betreuer: Dr. Dietmar Lammers

vorgelegt von: Stefan Heß  
Franz-Ludwig-Weg 7  
48149 Münster  
0172/2772044  
stefanh@math.uni-muenster.de

Abgabetermin: 2006-02-15

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	1
2	Eignung von Agenten für das SCM .....	3
3	Einsatzbereiche von Softwareagenten im SCM .....	6
4	Rahmenmodelle und Praxiseinsatz .....	9
5	Kritische Zusammenfassung .....	12
	Literatur.....	14

## 1 Einleitung

In der vorliegenden Seminararbeit soll vorgestellt werden, wie Softwareagenten zur Unterstützung von Aktivitäten des Supply Chain Management (SCM) eingesetzt werden können. Zunächst werden einige Grundlagen des SCM erörtert. Im zweiten Kapitel wird begründet, warum sich (Multi-)Agentensysteme für einen Einsatz im SCM besonders eignen. Das dritte Kapitel zeigt auf, in welchen Bereichen des SCM Softwareagenten zum Einsatz kommen können, bevor im vierten Kapitel generelle Rahmenmodelle sowie ein Beispiel aus der Praxis vorgestellt werden. Die Arbeit schließt mit einer kritischen Reflexion.

### *Grundlagen des Supply Chain Management*

Als *Supply Chain* (SC) wird die Kette der Wertschöpfungsprozesse über den gesamten Erstellungsvorgang eines Produkts oder einer Dienstleistung bezeichnet. Diese reicht gewöhnlich von der Rohstofflieferung über die Produktion und den Handel bis hin zum Endverbraucher. Das *Supply Chain Management* umfasst somit die Koordination aller Aktivitäten entlang dieser Wertschöpfungskette. Da an der Erstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung meist mehr als ein einzelnes Unternehmen beteiligt ist, hat das Supply Chain Management einen ausgeprägt interorganisatorischen Charakter. Ein Produkt kann in diesem unternehmensübergreifenden Produktionsumfeld nur dann erfolgreich am Markt platziert werden, wenn die beteiligten Partner sich untereinander optimal organisieren. Somit ist das Supply Chain Management in den letzten Jahren von der operativen Planung logistischer Abläufe zu einem strategischen Führungskonzept aufgestiegen, welches sowohl Chancen für Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz bietet, als auch umgekehrt einen kritischen Unternehmensfaktor darstellt.

Drei betriebswirtschaftliche Bewegungsgrößen prägen das Supply Chain Management: Der Materialfluss, der im Allgemeinen bei den Rohstofflieferanten beginnt und sich bis zum fertigen Produkt beim Endkunden fortsetzt, der Finanzfluss, der diametral zum Materialfluss verläuft, und der Informationsfluss, der wiederum in alle Richtungen der Supply Chain laufen sollte [CM01]. Die Notwendigkeit für eine effiziente Gestaltung des Supply Chain Management ergibt sich vor allem aus der häufig mangelhaften Gestaltung dieser Informationsflüsse. Dadurch kommt es zu Informationsdefiziten entlang der Supply Chain, welche z. B. zu betriebswirtschaftlichen Problemen wie dem *Bullwhip-Effekt* führen [BUL04].

### Ziele und Herausforderungen des SCM

Die Ziele für ein erfolgreiches Supply Chain Management definieren sich somit wie folgt:

- Abbau von Informationsdefiziten bei allen beteiligten Unternehmen
- Optimierung der interorganisatorischen Prozesse
- Integrierte Koordination von unternehmensübergreifenden Funktionen
- Kompetenzbündelung bei den verschiedenen Beteiligten

Das verfolgte Oberziel ist das Erzielen eines Mehrwerts für *alle* Beteiligten der Supply Chain. In den letzten Jahren hat sich das Supply Chain Management zudem zu einem kundenorientierten Ansatz entwickelt, da davon ausgegangen wird, dass sämtliche Prozesse letztendlich durch die Nachfrage des Kunden ausgelöst und bestimmt werden. In diesem Zusammenhang wird daher auch häufig der Begriff der *Demand Chain* verwendet [BB01]. Des Weiteren wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass der Wertschöpfungsprozess nicht mehr eindimensional betrachtet werden kann. Inzwischen sind die logistischen und produktionstechnischen Abläufe sehr umfangreich und komplex, womit auch die Zahl der beteiligten Unternehmen, die jeweils auf einen bestimmten Abschnitt der Prozesskette spezialisiert sind, immer weiter ansteigt. Daher wird inzwischen häufig auch von einem mehrdimensionalen *Supply Network* gesprochen.

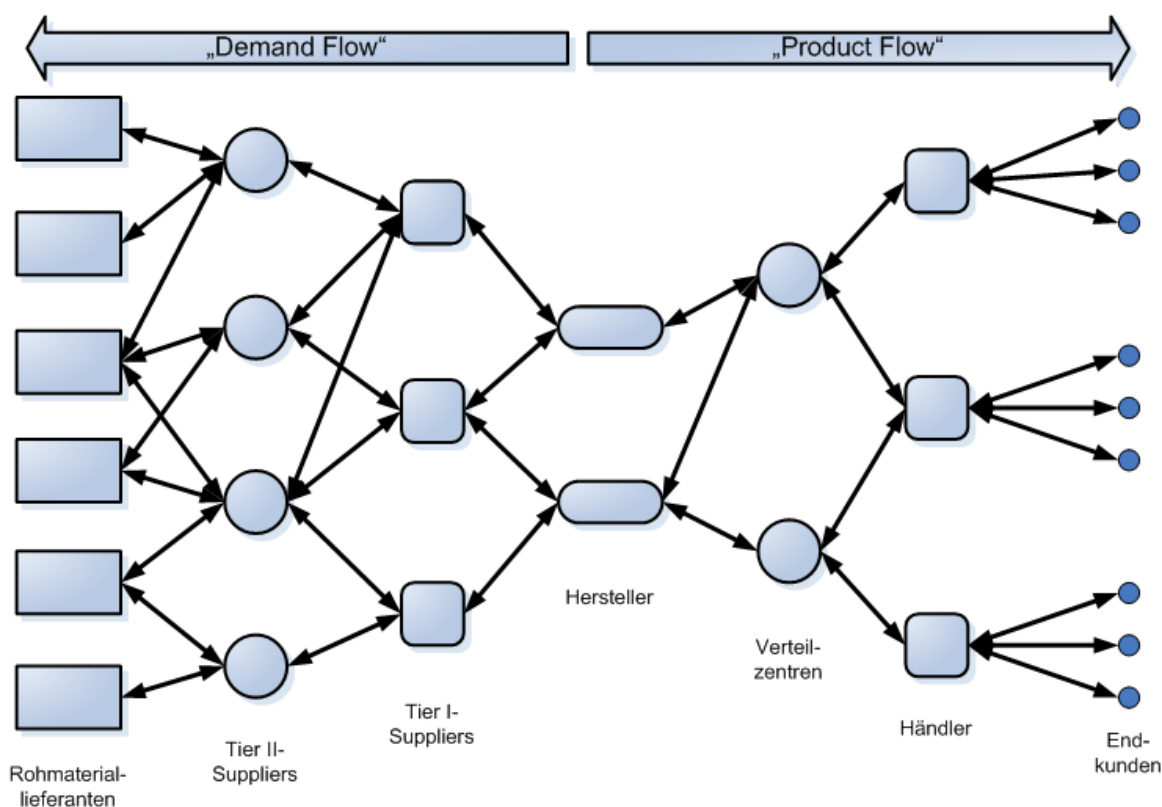


Abb. 1: Beispiel für ein Supply Network

Durch Kundenorientierung und die gesteigerte Komplexität der Supply Chain haben sich neue Anforderungen an die Gestaltung der Informationssysteme der beteiligten Unternehmen ergeben, welche durch die derzeit vorhandenen Lösungen nicht mehr erfüllt werden. In dieser Ausarbeitung soll daher aufgezeigt werden, inwiefern der Einsatz von Softwareagenten zur Erfüllung dieser neuen Anforderungen beitragen könnte.

## 2 Eignung von Agenten für das SCM

### *Informationssysteme in Unternehmen*

Ausschlaggebend für den Erfolg von Supply Chain-Aktivitäten ist der effiziente Umgang mit Informationen, da diese die Grundlage für strategische Entscheidungen der beteiligten Unternehmen darstellen [CM01]. So wurden auch mit dem Fortschreiten der technischen Entwicklung verschiedenartige Informationstechnologien in den Unternehmen realisiert, von denen die Wichtigsten hier kurz vorgestellt werden sollen.

Das *Electronic Data Interchange* (EDI) war nach den zuerst eingesetzten Einzelplatzlösungen die erste Technologie, die es ermöglichte, automatisiert Daten zwischen und innerhalb von Unternehmen zu bewegen. Der Datenaustausch beschränkt sich bei EDI zwar auf die Transaktionsebene, jedoch wurden hierdurch erst Konzepte wie beispielsweise *just-in-time-Lieferung* realisierbar. EDI ist allerdings für intelligente Informationsverarbeitung auf höheren Geschäftsebenen nicht geeignet, da hiermit keine Datenintegration zwischen verschiedenen Funktionsbereichen möglich ist.

Dies wurde erst durch Systeme für das *Enterprise Resource Planning* (ERP) möglich. Prominentestes Beispiel ist das SAP-System. Allerdings beschränken sich ERP-Systeme auf unternehmensinterne Informationsverarbeitung und bieten kaum Analysefunktionalitäten.

Die noch sehr neuen *SCM-Systeme* wurden entwickelt, um die bisher fehlende unternehmensübergreifende Daten- und Informationsanalyse zu unterstützen. Somit ergänzen sie die schon vorhandenen ERP-Systeme. Allerdings müssen die entsprechenden Daten aus den meist sehr heterogenen Systemen der verschiedenen Unternehmen in die SCM-Anwendung eingepflegt werden, so dass man nicht von einer integrativen Lösung sprechen kann.

Diese Lücke könnte möglicherweise durch *Multiagentensysteme* (MAS) geschlossen werden.

### *Eigenschaften von Softwareagenten*

Eine einheitliche Definition für Softwareagenten hat sich bisher in der Forschung noch nicht durchgesetzt. Dennoch werden bei den verschiedenen Autoren meist ähnliche Bedingungen genannt, welche eine Software als Agent charakterisiert (vgl. [CFLC99; RS97; CKP<sup>+</sup>00]). Dies sind insbesondere:

- Selbstständiges/autonomes Handeln
- Interaktionsfähigkeit (Kooperation/Kommunikation)
- Reaktives Verhalten
- aktive Beeinflussung der Umwelt
- Ziel-/Problemorientierung

Des Weiteren werden häufig genannt:

- Lernfähigkeit, Intelligenz (KI)
- Vertrauenswürdigkeit
- Mobilität

Für den sinnvollen Einsatz von Softwareagenten in Produktivumgebungen definierten Bond und Gasser 3 Grundvoraussetzungen [BG88]:

1. Daten, Systemkontrolle, Kompetenzen und Ressourcen müssen dezentral vorhanden und organisiert sein.
2. Das System ist ein Zusammenschluss von unabhängig handelnden Komponenten.
3. Das System enthält „legacy components“ und „new components“, diese sollen miteinander interagieren können.

Diese Grundvoraussetzungen entsprechen exakt den gegebenen Eigenschaften des SCM. Folglich erscheint der Einsatz von Softwareagenten im Bereich des SCM grundsätzlich sinnvoll.

### *Gemeinsamkeiten von Softwareagenten und SCM*

Um diese Theorie zu untermauern, untersuchten Yuan, Liang und Zhang [YLZ03] die Eigenschaften von MAS und SCM genauer und identifizierten zahlreiche Gemeinsamkeiten:

**Mehrere Beteiligte:** Eine Supply Chain besteht aus einer Vielzahl an beteiligten Unternehmen, die jeweils einzelne Funktionen einer mehrstufigen Aufgabe erfüllen sollen. Ein MAS

besteht ebenfalls aus verschiedenen Arten von Agenten, die jeweils eine bestimmte Teilaufgabe im Gesamtsystem erfüllen.

**Autonomie und regelbasiertes Verhalten:** Jedes an der SC beteiligte Unternehmen hat eigene Prinzipien, Fähigkeiten und Aufgaben und handelt nach bestimmten Geschäftsregeln, die von der jeweiligen Unternehmensführung vorgegeben werden. Auch die einzelnen Softwareagenten haben bestimmte Eigenschaften und Verhaltensregeln, die je nach zu erfüllender Aufgabe von seinem Nutzer bestimmt werden.

**Koordinierungsbedarf:** Im SCM müssen die Material-, Informations- und Finanzflüsse zwischen den einzelnen SC-Beteiligten koordiniert und organisiert werden (vgl. Kap. 1, S. 1). Ebenso ist zwischen den einzelnen Agenten eines MAS der Koordinierungs- und Kommunikationsbedarf zu decken, um das Funktionieren des Systems zu ermöglichen.

**Verteilte Informationen:** Die für das SCM benötigten Informationen liegen verteilt vor. Einerseits sind diese auf die verschiedenen Beteiligten der SC aufgeteilt, andererseits werden Daten und Informationen auch unternehmensintern bisher meist nicht zentral organisiert und verwaltet. Diese Informationen müssen über organisatorische und funktionale Grenzen hinweg verfügbar gemacht werden. Genauso müssen auch Agenten durch Kommunikationsprozesse den Benutzern, den Informationssystemen oder anderen Agenten die relevanten Informationen mitteilen und zur Verfügung stellen.

**Keine einzelne Autorität:** Ein funktionierendes SCM-System setzt voraus, dass keine übergeordnete Autorität existiert, welche die alleinige (Entscheidungs-)Macht über die Supply Chain und das in ihr enthaltene Wissen und die Informationen verfügt. Entscheidungen werden durch Verhandlungen, Koordination und Informations- und Wissensweitergabe getroffen. Auch in MAS sollte es keine übergeordnete Instanz geben. Die autonom handelnden Agenten kommen durch Verhandlungs- und Koordinationsprozesse sowie Kommunikation mit der Umwelt zu einer geeigneten Gesamtlösung.

**Lernendes und schlussfolgerndes Verhalten:** Die Wettbewerbsbedingungen für die Beteiligten ändern sich laufend durch Umwelteinflüsse und sich wandelnde Rahmenbedingungen. Daher müssen die Verantwortlichen aus vergangenen Ergebnissen und Daten lernen und schlussfolgern, um zukünftige Entscheidungen und Abläufe zu optimieren. Intelligente Agenten können ebenfalls durch Techniken der Künstlichen Intelligenz (Regelwerke, neuronale Netze etc.) ihre eigene Verhaltensweise über den Zeitablauf immer weiter optimieren.

**Flexible Organisation:** Je nach den gegebenen Rahmenbedingungen, welche für verschiedene Branchen sehr unterschiedlich sein können, muss die Supply Chain flexibel gestaltet und organisiert werden. Bei Veränderungen der Rahmenbedingungen muss auch die SC entspre-

chend anpassbar sein. Auch ein MAS ist durch die Autonomie der verschiedenen Agenten äußerst flexibel gestaltbar und kann an die jeweiligen Anforderungen individuell angepasst werden.

**Aufgabenteilung:** Abläufe in der SC können in Unteraufgaben aufgeteilt oder mehrstufige Aufgaben zu einer einzelnen übergeordneten Funktion zusammengefasst werden. Die so verteilten Aufgaben werden von den SC-Mitgliedern je nach Kompetenzen optimal bearbeitet. Nach dem gleichen Prinzip können Agenten Aufgaben aufteilen und an andere Agenten delegieren, sowie zusammengefasste Aufgaben von anderen Agenten übernehmen.

**Dynamik:** Sowohl in einer Supply Chain als auch in einem Multiagentensystem können neue Beteiligte/Agenten in das bestehende System integriert werden oder aus dem System austreten. Somit besitzen beide Domänen einen hohen Grad an Dynamik.

Es ist also festzustellen, dass Multiagentensysteme und Supply Chain Management etliche Parallelen aufweisen, so dass der Einsatz von Agenten im SCM äußerst sinnvoll erscheint.

### 3 Einsatzbereiche von Softwareagenten im SCM

Einer der Schlüsselfaktoren für ein wettbewerbsfähiges SCM ist die Organisation der *Kollaboration*. In einem modernen Supply Network sind hunderte oder sogar tausende einzelner Unternehmen verknüpft, die an der Erstellung von Produkten und Dienstleistungen beteiligt sind. Um diese Erzeugnisse wettbewerbsfähig auf dem Markt anbieten zu können, sind umfangreiche Koordinationsaufgaben innerhalb des gesamten Supply Network zu erfüllen [CM01]. Eine erfolgreiche Kollaboration scheitert meist an Informationsmängeln, divergierenden Zielen der Beteiligten und/oder fehlendem Vertrauen der Beteiligten untereinander.

Somit können drei verschiedene Ebenen der Kollaboration im Bereich des SCM unterschieden werden [YLZ03]: *Collaborative Information Sharing* soll die Informationsmängel abbauen. Mit *Collaborative Operation* können operative Abläufe kontrolliert und optimiert werden, wodurch das Misstrauen der Partner untereinander abgebaut wird. Durch *Collaborative Configuration* soll zudem sichergestellt werden, dass die Beteiligten auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiten. Auf jeder dieser Ebenen sind verschiedene Typen von Softwareagenten denkbar, die im folgenden vorgestellt werden.



### *Collaborative Information Sharing*

In einer Supply Chain sind die Informationen auf alle Beteiligten verteilt. Somit ist zunächst keine Datenquelle sofort für alle Supply Chain-Partner verfügbar. Die sofortige Verfügbarkeit relevanter Informationen bei allen Beteiligten ist jedoch eines der Hauptziele des SCM (vgl. . Kap. 1, S. 1). Hieraus ergeben sich Aufgaben für die einzelnen Unternehmen im Bereich des Collaborative Information Sharing, die derzeit größtenteils manuell vorgenommen werden. So muss bestimmt werden, welche Informationen überhaupt für die SC-Partner zur Verfügung gestellt werden sollen, und ob diese Informationen für alle oder nur für eine bestimmte Zielgruppe bereitgestellt werden. Des Weiteren liegen die Daten auch innerhalb eines Unternehmens häufig nicht integriert vor. Daher muss auch herausgefunden werden, wo die jeweiligen Informationen zu finden sind. Außerdem muss auch noch festgelegt werden, wie der Zugriff auf die Information über die Unternehmensgrenzen hinweg erfolgen soll (Schnittstellen).

Diese aufwendigen Aufgaben könnten größtenteils von Softwareagenten übernommen werden. Diese für SC-Partner relevanten Informationen könnten durch *blackboard agents* oder *broadcasting agents* publiziert werden. Um herauszufinden, wo die benötigten Daten aufzufinden sind, könnten z. B. *yellow page directory agents* oder *searching agents* eingesetzt werden. Diese sind möglicherweise auch fähig, Änderungen an den Daten feststellen und die Aktualisierungen kommunizieren. Der Zugriff auf die Daten über Unternehmensgrenzen hinweg ist durch *interface agents* normierbar, *translation agents* könnten zudem hilfreich sein, um Sprachbarrieren abzubauen. Für die Zugriffskontrolle auf die jeweiligen Informationen eignen durch *authorization/security agents*. Zur Sicherstellung der geeigneten Kommunikation der Daten sind normierte Techniken wie Austauschformate (XML, EDI), Verschlüsselungstechniken (SSH, PGP) und die für Multiagentensystem und Wissensaustausch konzipierte KQML (Knowledge Query and Manipulation Language [FL97]) nutzbar.

### *Collaborative Operation*

Die Zusammenarbeit im operativen Geschäft wird derzeit zwischen den SC-Beteiligten auf der Basis mittel- bis langfristiger Verträge betrieben. Da das Wettbewerbsumfeld aber meist sehr dynamisch ist und sich die Umweltsituation ständig verändert, können in solchen Verträgen immer nur statische Rahmenbedingungen festgelegt werden, die zum einen nicht ausreichend detailliert sind und zum anderen die gegenseitige Unsicherheit der Vertragspartner verstärken. Dieses Misstrauen behindert ein effizientes SCM. Des Weiteren ist die große Zahl der Verträge insbesondere für größere Unternehmen oft erschlagend und nicht mehr effizient verwaltbar (die Anzahl der Verträge in den 1000 weltweit umsatzstärksten Unternehmen liegt zwischen 20.000 und 40.000). Die Unternehmen in einer Supply Chain müssen

also regelmässig kontrollieren, ob die vertraglichen Abkommen auch eingehalten werden. Falls Abweichungen von vereinbarten Leistungen festgestellt werden, muss auf diese mit geeigneten Maßnahmen reagiert werden. Für den Abschluss neuer Verträge ist es notwendig, die Situation zu analysieren und daraus die festzuhaltenden Rahmenbedingungen abzuleiten. Außerdem sollten die Verträge zwischen den SC-Partnern so ausgestaltet werden, dass langfristig ein optimales Ergebnis für die gesamte SC erzielt wird. Diese Aufgaben werden derzeit größtenteils manuell vorgenommen.

Zukünftig ist es denkbar, diese Aufgaben geeigneten Softwareagenten zu übertragen. *Monitoring/supervision agents* könnten z. B. als mobile Agenten bei den Vertragspartnern eingesetzt werden. Dort überwachen diese die Einhaltung von vertraglichen Verpflichtungen (vgl. Kap. 4, S. 10). Falls hierbei Abweichungen festgestellt werden, könnten *exception handling agents* die Ergreifung notwendiger Maßnahmen einleiten. So können z. B. Produktionsausfälle oder Lieferengpässe bei Zulieferern durch die automatisierte Beauftragung von Ersatzlieferanten aufgefangen werden. Für die Analyse der Wettbewerbssituation könnten *analysis agents* eingesetzt werden, welche Daten aus der gesamten Supply Chain sammeln, analysieren und – unterstützt durch *optimization agents* – eine möglichst effiziente Gestaltung der Verträge möglich machen.

### *Collaborative Configuration*

Um möglichst schnell auf die dynamische Marktumwelt (z. B. steigende Nachfrage nach einem Produkt) reagieren zu können, muss auch die Gestaltung der jeweiligen Supply Chain sehr dynamisch und flexibel sein. Der optimale Zustand einer Supply Chain ist dann gegeben, wenn ein *virtuelles Unternehmen* aus ihr hervorgeht. Unter einem virtuellen Unternehmen versteht man den zeitlich befristeten Zusammenschluss mehrerer Unternehmen mit dem Ziel, eine gemeinsamen Leistung für den Markt zu erstellen, wobei jedes Unternehmen seine jeweiligen Kernkompetenzen in die Leistungserstellung einbringt [Fra02]. Als Beispiel sei hierfür ein virtuelles Internet-Reisebüro genannt, welches je nach Kundenwunsch eine Kombination aus Fluggesellschaft, Hotelunternehmen und Autovermietung zusammenstellt. Derzeit sind die Supply Chains davon aber noch weit entfernt, da sie meist eine sehr starre, unflexible Struktur aufweisen und die einzelnen Unternehmen meist nur auf den eigenen Teil der SC fokussiert sind und die globale Perspektive vernachlässigen. Die Hauptaufgaben im Bereich der Collaborative Configuration liegen für die Unternehmen darin, die möglichen Partnerunternehmen zu identifizieren und mit diesen geeignete Verträge auszuhandeln [AL99]. Des Weiteren müssen logistische Aspekte berücksichtigt werden, z. B. die Bestimmung des kosteneffizientesten Lieferweges.

Die Übernahme dieser bisher manuell durchgeführten Prozesse durch Softwareagenten ist

sinnvoll. Für die Bestimmung der möglichen Partnerunternehmen können *search agents* eingesetzt werden. Alternativ ist die Schaffung eines selbstregulierenden Marktes denkbar, auf dem *auction/bidding agents* oder *matchmaker agents* zusammen kommen und optimale Unternehmenspartnerschaften autonom bestimmen und aushandeln. Für die individuelle Aushandlung von Verträgen können *negotiation agents* eingesetzt werden, die selbstständig die Vertragsinhalte festlegen können [CPF<sup>+</sup>99]. Für logistische Optimierungen sind *logistic agents* einsetzbar, welche selbstständig Lieferwege und -zeiten festlegen und die Kooperation der Partner auf strategisch-logistischer Ebene übernehmen.

#### *Automatisierung durch Agenten*

Eine funktionierende Supply Chain bedingt also etliche zu erfüllende Aufgaben in den einzelnen Unternehmen. Diese werden heutzutage zum größten Teil noch individuell durch Mitarbeiter der Unternehmen bearbeitet, was zu hohen Kosten und unflexiblen Strukturen verursacht und zum anderen Optimierungspotenziale durch eine globale Sicht auf die Supply Chain verhindert. Unterschiedliche Arten von Agenten können diese Aufgaben zukünftig ganz übernehmen oder zumindest vereinfachen und unterstützen, wodurch die beschriebenen Nachteile größtenteils abgebaut werden.

## **4 Rahmenmodelle und Praxiseinsatz**

Im vorigen Kapitel wurden individuelle Aufgaben im Bereich der Supply Chain-Kollaboration diskutiert, welche durch Softwareagenten unterstützt werden können. Darauf basierend wurden in der Forschung verschiedene Modelle und Frameworks entwickelt, die den Einsatz von Multiagentensystemen im Supply Chain Management beschreiben. Die im Folgenden vorgestellten Ansätze sind nur eine Auswahl der entwickelten Vorschläge, welche auch meist nicht das gesamte SCM umfassen, sondern auf spezielle Problemfelder des SCM fokussieren. Zudem wird ein kurzes Beispiel vorgestellt, in dem ein solcher Ansatz schon erfolgreich in die Praxis umgesetzt wurde.

### *Allgemeine Frameworks für Integration und Kooperation*

Fox u. a. entwickelten wohl als Erste schon 1993 ein allgemeines Framework für das integrierte SCM mit Agenteneinsatz [FCB93]. In ihrem *Integrated Supply Chain Management Project* (ISCM) übernimmt jeder Agent eine oder mehrere Einzelfunktionen der SC und koordiniert seine Entscheidungen mit den anderen Agenten. Unterschieden werden zwei Grundtypen von Agenten: Funktionsagenten (z. B. *logistics agents* und *order acquisition agents*...) planen und kontrollieren die Aktivitäten der SC. Unterstützt werden sie hierbei von Informationsagenten, welche benötigte Informations- und Kommunikationsdienstleistungen bereit stellen. Das Framework behandelt vor allem Koordinationsprobleme auf taktischer und operationaler Ebene, umfasst aber jeweils nur ein einzelnes Unternehmen, welches über Schnittstellen mit der Außenwelt kommuniziert.

Neuere prominente Rahmenmodelle mit allgemeinem Fokus sind das *MetaMorph II Projekt* [SN98] und die *Collaborative Agent System Architecture* (CASA) [SUNK99].

### *Agentensysteme mit speziellem Fokus auf Teilaufgaben*

Neben den sehr allgemeinen Modellen wurden auch Vorschläge für Agentensysteme gemacht, die nur auf einen bestimmten Teilbereich des SCM abzielen. Der *Virtual Manufacturing-based Sales Agent* (VSMA) definiert eine Multiagenten-Architektur zur Unterstützung der Vertriebsprozesse für Baugruppen- und Teilehersteller [CKP<sup>+</sup>00]. Die eingesetzten Agenten übernehmen hier u. a. Aufgaben wie Produktionsplanung, Prozessoptimierung und Auslastungsanalyse.

Die *Mobile Agents for Supervision* von Rabelo und Spinoso [RS97] sind für die Kontrolle der SC-Partner zuständig. Jedes Unternehmen der SC platziert einen mobilen Agenten bei den jeweiligen SC-Partnern. Diese sammeln im System des Partners die benötigten Informationen und melden diese an das Unternehmen zurück. Durch Überwachung von kritischen Aktivitäten (z. B. Produktionsausfälle, Lieferverzögerungen u. Ä.) beim Partner kann das Unternehmen schnell reagieren und entsprechende Maßnahmen einleiten. Ähnliche Vorschläge sind in [SR99] zu finden.

### *Bildung der Supply Chain*

Die meisten vorgeschlagenen Agentensysteme behandeln schon existierende Beziehungen in einer SC. Es gibt aber auch Ansätze, die sich mit der dynamischen Bildung einer Supply Chain befassen (vgl. virtuelle Unternehmen, Kap. 3, S. 8). Das Modell in [CP00] sieht vor, dass jedes Unternehmen der SC durch einen autonomen Agenten repräsentiert wird. Diese treffen dann auf einem virtuellen Marktplatz zusammen und können selbstständig eigene Angebote machen oder fremde Angebote nachfragen. Durch ein Matching von Angebot und Nachfrage bildet sich somit dynamisch das Supply Network. Verwendet werden KI-Techniken wie gefärbte Petrinetze (CPN), die Agenten kommunizieren mittels einer Agent Communication Language (ACL).

### *Modellierung und Simulation der Supply Chain*

Durch Simulation von Supply Chains können wertvolle Informationen über Optimierungsmöglichkeiten und Managementalternativen gewonnen werden. Die Modellierung einer Supply Chain ist aber eine komplexe und zeitaufwändige Aufgabe. Zur Vereinfachung dieser Aufgabe können Multiagentensystem als Werkzeug verwendet werden. Swaminathan u. a. entwickelten auf Basis dieser Idee ein Multiagentensystem („Modeling Supply Chain Dynamics“ [SSS98]). Die Agenten repräsentieren hier jeweils einzelne Funktionen der SC. Jeder Agent ist spezialisiert auf die Optimierung der ihm delegierten Funktion. Zusätzlich existiert ein „System Optimizer“ mit einem constraint-basiertem Optimierungsalgorithmus. Dieser soll sicherstellen, dass ein globales Optimum erreicht wird. Das Modell wurde von IBM zur Optimierung der SC implementiert und erfolgreich eingesetzt.

### *Beispiel für den praktischen Einsatz*

Die Möglichkeit der praktischen Realisierung eines umfassenden Agenteneinsatzes im SCM ist wegen der großen Komplexität des Problemfeldes sehr umstritten. Möglicherweise führen zukünftige Erkenntnisse der Informatik, speziell im Bereich der Künstlichen Intelligenz, zu praktikableren Frameworks. Das Potenzial von Multiagentensystemen für das SCM wurde erkannt und es wird intensiv weiter geforscht. Auch die Wirtschaft nimmt Anteil an der Entwicklung; einige Firmen haben sich schon auf diesen Bereich spezialisiert und treiben die Entwicklung voran. Derzeit werden die existierenden Techniken sehr häufig als Modellierungswerkzeug eingesetzt, um die Auswirkungen unterschiedlicher SCM-Strategien zu simulieren sowie Schwachstellen und Optimierungsmöglichkeiten existierender Supply Chains zu identifizieren.

Das Softwareunternehmen *NuTech Solutions* z.B. ist seit 1999 auf Agentensysteme und künstliche Intelligenz spezialisiert und berät zahlreich prominente Großunternehmen. Unter anderem wurde das Unternehmen von *Procter&Gamble* beauftragt, die Supply Chain des Unternehmens zu analysieren und Vorschläge zur Optimierung der SC-Struktur zu machen, da diese in den letzten Jahren zunehmend ineffizient geworden war [NuT03]. NuTech analysierte zunächst die Ursachen der Ineffizienz und kam zu dem Schluss, dass sich die Supply Chain insbesondere durch die Verbreitung des e-Commerce zu einem komplexen, unübersichtlichen Supply Network entwickelt hat. Die bisher von Procter&Gamble verwendeten Optimierungstechniken waren für dieses neue Netzwerk nicht mehr geeignet. NuTech simulierte nun mit Hilfe von Softwareagenten die Verhaltensweisen und Eigenschaften der verschiedenen Akteure (Fabriken, Verteilzentren, Lkws, Einzelhändler, Produkte, Unternehmensführung usw.). Als Datenbasis wurden aktuelle, reelle Zahlen aus der SC von Procter&Gamble verwendet. Simuliert wurden auch besondere Situationen wie Nachfragespitzen (z. B. durch Marketingmaßnahmen) u. ä. und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem. Durch die iterative Wiederholung der Simulationsläufe lernten die Agenten eine nahezu optimale Verhaltensweise. So entstand ein sich annähernd selbst organisierendes Netz. Letztendlich konnte in der so neu organisierten Supply Chain eine Reduzierung der Durchlaufzeit und des Bestandes von durchschnittlich 50% festgestellt werden. Anschließend von Procter&Gamble durchgeführte Feldversuche bestätigten diese Zahlen. Das Unternehmen hat nun begonnen, die identifizierten Optimierungsmöglichkeiten weltweit umzusetzen. Die jährlichen Investitionen für die Umsetzung liegen bei ca. 3 Mio. US-\$, die durch die Änderungen erzielten Einsparungen belaufen sich auf etwa 300 Mio. US-\$. Diese Zahlen zeigen, welchen Mehrwert der Einsatz von Multiagentensystemen im Supply Chain Management bringen kann.

## **5 Kritische Zusammenfassung**

In der vorliegenden Ausarbeitung wurde gezeigt, dass die Entwicklung der Supply Chains von festen, statischen Strukturen zu flexiblen, komplexen Netzwerken neue Methoden der Organisation notwendig machen. Ferner ergeben sich durch diese Entwicklung auch neue Optimierungspotenziale für die Gestaltung der Supply Chain. Agentensysteme bieten die Möglichkeit, selbstständig auf die sich ständig ändernden Umweltbedingungen zu reagieren und das Supply Network dem jeweiligen Rahmen optimal anzupassen.

Allerdings muss auch betont werden, dass der Einsatz von Multiagentensystemen im Supply Chain Management sich noch in der Forschungsphase befindet und ausgereifte, umfassende Lösungen bisher nicht existieren. Zudem gibt es durchaus auch Argumente, die den sinnvollen Einsatz von Agenten in Frage stellen. Die Verwendung von Agententechnologien setzt

voraus, dass kein übergreifender System-Controller existiert. Es ist aber häufig der Fall, dass die Beteiligten der SC nicht immer wirklich gleichberechtigt sind. Häufig determiniert ein einzelnes Unternehmen die gesamte SC. Dieses will die Kontrolle über die SC möglicherweise nicht abgeben. Oft ist dieses eine Unternehmen sogar abhängig von einer dominierenden Position in der SC. Ein weiteres Problem ist, dass bei einem Einsatz von Softwareagenten die globale Perspektive nicht ausreichend betrachtet wird. Agenten verfügen nur über lokales Wissen, weshalb sie auch nur lokal begrenzt sinnvolle Entscheidungen treffen. Diese sind zwar in der Regel optimal für die lokale Problemstellung, die Summe der lokalen Optima führt aber nicht zwingend auch zu dem globalen Optimum. Weiterhin fehlt den Unternehmen auch oft noch das Vertrauen in die Zuverlässigkeit von Multiagentensystemen. Je simpler eine Aufgabe ist, desto leichter fällt es den Entscheidungsträgern, die Kontrolle über diese Aufgabe zu delegieren. Der Agenteneinsatz im Bereich des SCM umfasst aber auch die Übernahme möglicherweise geschäftskritischer Entscheidungen (z. B. Vertragsabschlüsse). Hierfür fehlt derzeit noch das Vertrauen in die Agententechnologie. Darüber hinaus muss auch die Vertrauenswürdigkeit für die Agenten untereinander gegeben sein. Weitere Hemmnisse sind die bisher fehlenden Standards sowie rechtliche Einschränkungen (z. B. Geschäftsfähigkeit von Agenten, Verantwortung für Fehlverhalten von Agenten usw.).

Trotz dieser Hindernisse ist ein produktiver Einsatz von Softwareagenten zumindest in Teilbereichen des Supply Chain Management in naher Zukunft zu erwarten.

## Literatur

- [AL99] ANDERSSON, David L. ; LEE, Hau: Synchronized supply chains: the new frontier. In: *ASCET 1* (1999). [http://www.ascet.com/documents.asp?d\\_id=198](http://www.ascet.com/documents.asp?d_id=198)
- [BB01] *Kapitel The Century of the Consumer: Converting Supply Chains into Demand Chains*. In: BLACKWELL, Roger ; BLACKWELL, Kristina: *Supply Chain Yearbook, 2001 Edition*. McGraw-Hill, 2001
- [BG88] BOND, A. H. ; GASSER, L.: *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, 1988
- [BUL04] <http://www.quickmba.com/ops/bullwhip-effect/> Abrufdatum 13.02.2006
- [CFLC99] CHEN, Ye ; FININ, Tim ; LABROU, Yannis ; COST, Scott: *Negotiating Agents for Supply Chain Management*. [citeseer.ist.psu.edu/chen99negotiating.html](http://citeseer.ist.psu.edu/chen99negotiating.html). Version: 1999
- [CKP+00] CHOI, Hyung R. ; KIM, Hyun S. ; PARK, Young J. ; KIM, Kyoung H. ; JOO, Myung H. ; SOHN, Hyung S.: A sales agent for part manufacturers: VMSA. In: *Decision Support Systems* 28 (2000), S. 333–346
- [CM01] CHOPRA, S. ; MEINDL, P.: *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations* / Prentice Hall College. 2001. – Forschungsbericht
- [CP00] CHEN, Ye ; PENG, Yun: *An Extended Bayesian Belief Network Model of Multi-agent Systems for Supply Chain Management*. 2000
- [CPF+99] CHEN, Ye ; PENG, Yun ; FININ, Tim ; LABROU, Yannis ; COST, Scott ; CHU, Bill ; YAO, Jian ; SUN, Rongming ; WILHELM, Bob: *A negotiation-based Multi-agent System for Supply Chain Management*. [citeseer.ist.psu.edu/268420.html](http://citeseer.ist.psu.edu/268420.html). Version: 1999
- [FCB93] FOX, Mark S. ; CHIONGLO, John F. ; BARBCEANU, Mihai: *The Integrated Supply Chain Management System* / Department of Industrial Engineering, University of Toronto. 1993. – Forschungsbericht
- [FL97] FININ, Tim ; LABROU, Yannis: KQML As An Agent Communication Language. In: BRADSHAW, J.M. (Hrsg.): *Software Agents*, MIT Press, Cambridge, 1997, S. 291–316
- [Fra02] <http://www.isi.fhg.de/pr/2002de/pri062002.htm> Abrufdatum 13.02.2006
- [NuT03] NUTECH SOLUTIONS: *Case Study - The Procter & Gamble Company*. [http://www.nutechsolutions.com.pl/www/pdf/cs\\_pg.pdf](http://www.nutechsolutions.com.pl/www/pdf/cs_pg.pdf). Version: 2003



- [RS97] RABELO, R. J. ; SPINOSA, L. M.: *Mobile-agent-based Supervision in Supply Chain Management in the Food Industry*. AGROSOFT 97 - Feira eCongresso de Informatica Aplicada Agropcuia e Agroindtria. <http://www.agrosoft.org.br/trabalhos/ag97/w2w1400.htm>. Version: September 1997
- [SN98] *Kapitel An Agent-Based Approach or Manufacturing Enterprise Integration and Supply Chain Management*. In: SHEN, Weiming ; NORRIE, Douglas H.: *Globalisation of Manufacturing in the Digital Communications Era of the 21st Century: Innovation, Agility and the Virtual Enterprise*. Kluwer Academic Publishers, 1998
- [SR99] SOUSA, Paulo ; RAMOS, Carlos: A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing systems. In: *Computers in Industry* 38 (1999), S. 103–113
- [SSS98] SWAMINATHAN, Jayashankar M. ; SMITH, Stephen F. ; SADEH, Norman M.: Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. In: *Decision Sciences* 29 (1998), Summer, Nr. 3, 607-632. [citeseer.ist.psu.edu/article/swaminathan98modeling.html](http://citeseer.ist.psu.edu/article/swaminathan98modeling.html)
- [SUNK99] SHEN, Weiming ; ULIERU, Mihaela ; NORRIE, Douglas ; KREMER, Rob: *Implementing the Internet Enabled Supply Chain through a Collaborative Agent System*. [citeseer.ist.psu.edu/shen99implementing.html](http://citeseer.ist.psu.edu/shen99implementing.html). Version: 1999
- [YLZ03] YUAN, Yufei ; LIANG, T.P. ; ZHANG, Jason J.: *Using Agent Technology to Support Supply Chain Management: Potentials and Challenges*. McMaster E-Business Research Center (WWW). <http://merc.mcmaster.ca/wpapers/wpaper453.html>. Version: 10 2003