

Ein Multi-Agentensystem für Selbststeuerung in der Transportlogistik

Christian Behrens, Markus Becker, Jan D. Gehrke, Reiner Jedermann, Carmelita Görg, Otthein Herzog, Walter Lang und Rainer Laur

Kurzfassung

Diese Veröffentlichung beschreibt einen neuartigen Ansatz zur Umsetzung von Selbststeuerung in der Transportlogistik. Selbststeuerung ist notwendig, um die Komplexität heutiger und zukünftiger Lieferketten handhabbar zu gestalten. Diese Selbststeuerung bedingt Mobilität und deren Aspekte reichen von mobiler Kommunikation über die Migrationsfähigkeit von Softwareagenten bis hin zur Kopplung zwischen realer und virtueller Welt, also der Mobilität der Information. Durch den Einsatz modernster IuK-Technologien wie RFID, Sensornetze, mobile Kommunikationsnetze und Softwareagenten werden diese Konzepte im Rahmen eines Demonstratorsystems für Selbststeuerung in der Logistik umgesetzt.

1 Einleitung

Moderne logistische Lieferketten zeichnen sich durch hohe strukturelle und dynamische Komplexität aus. Die Lagerhaltung wird aus Kostengründen reduziert – Produktion und Lieferungen erfolgen möglichst „just in time“. Hierdurch steigen die Lieferfrequenzen, während die produzierten Stückzahlen und die transportierte Gütermenge pro Auftrag entsprechend sinken. Weiterhin müssen moderne Lieferketten in der Lage sein, flexibel auf Störungen (z.B. Produktionsengpässe, Ausfall von Systemen, Verkehrsstörungen, Verlust von Ladungen durch Beschädigung oder Verderb) zu reagieren. Derartige Lieferketten sind heute mit zentralen Planungsmitteln und massiver Unterstützung durch IT-Infrastruktur nur noch schwer handhabbar.

Um den zukünftigen Anforderungen dennoch gerecht zu werden, sind neue Methoden zur Koordinierung und Planung in der Logistik notwendig. Ein Ansatz, um diese Komplexität effektiv bewältigen zu können, ist, logistische Objekte einer Lieferkette (Lager, Transportmittel und Güter) mit entsprechender Intelligenz und Kommunikationsfähigkeit selbststeuernd zu gestalten. Die Granularität der Selbststeuerung bestimmt dabei die Anzahl der selbststeuernden Objekte.

Selbststeuerung wird durch Repräsentation jedes dieser logistischen Objekte durch einen Softwareagenten erreicht. Diese Softwareagenten sind in der Lage, durch Austausch von Informationen und entsprechend ihrer eigenen Ziele autonom Entscheidungen zu treffen und, falls es ihren individuellen Zielen dient, mit anderen Softwareagenten zu kooperieren, um gemeinsam ihre Ziele zu erfüllen. Diese Eigenschaften der Softwareagenten ermöglichen Selbststeuerung in der Logistik.

Die Selbststeuerung in der Logistik mittels Repräsentation durch Softwareagenten ist das Themengebiet des von der DFG und der Universität Bremen ge-

meinsam finanzierten Sonderforschungsbereichs (SFB) 637. In diesem Rahmen kooperieren Institute aus sechs Fachrichtungen und evaluieren gemeinsam die Durchführbarkeit und die Grenzen des Konzeptes. Am Ende der Forschungsarbeit des SFB 637 steht als Vision der Selbststeuerung das sich selbst produzierende und verschickende Gut. Dieses Gut produziert sich nach Bedarf und findet eigenständig den günstigsten Transportweg zu seinem Bestimmungsort und kann flexibel auf Änderungen der Situation reagieren. Die hier präsentierte Arbeit beschränkt sich auf die Transportlogistik verderblicher und sensibler Waren. Bei dieser Warenart haben die Umgebungsparameter während des Transports einen Einfluss auf die Qualität der transportierten Ware und stellen somit einen weiteren Dynamikaspekt der Logistik dar, der zukünftig stark an Bedeutung gewinnen wird.

Diese Veröffentlichung gliedert sich in vier weitere Abschnitte. Der zweite Abschnitt beschreibt die Anforderungen und den Aufbau eines selbststeuernden Systems in der Transportlogistik. Hierbei werden die wesentlichen Komponenten des Systems, nach ihren Funktionen Transportkoordination, Kommunikation und Qualitätsüberwachung gegliedert, dargestellt. Im dritten Abschnitt wird die Anwendung dieses Systems im Rahmen eines Demonstrators für Selbststeuerung beschrieben. Hierbei wird exemplarisch anhand eines Beispielszenarios für den Transport verderblicher Waren die Funktionsweise dieser Komponenten der Selbststeuerung dargestellt. Die Ergebnisse der Arbeiten werden abschließend im vierten Abschnitt zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf weitere Arbeiten gegeben.

2 Aufbau des Systems

An ein System für Selbststeuerung in der Logistik werden folgender Anforderungen gestellt:

Heterarchie

Ein Grundprinzip zur Umsetzung der Selbststeuerung ist die Verlagerung der Entscheidung weg von zentralen Kontrollinstanzen hin zum einzelnen logistischen Objekt. Die sich hieraus ergebende Struktur wird als Heterarchie bezeichnet.

Mobilität

Um der heterarchischen Struktur gerecht zu werden, sollten sich die Entscheidungsentitäten in unmittelbarer Nähe ihrer logistischen Objekte befinden. Dies macht wegen der Mobilität der logistischen Objekte die Mobilität dieser Entscheidungsentitäten notwendig. Weiterhin müssen die Entscheidungsentitäten mit der für die Entscheidungsfindung notwendigen Information versorgt werden. Daher ist die Bereitstellung dieser Information über mobile Kommunikation unabdingbar.

Robustheit

Um echte Autonomie und somit Selbststeuerung zu erreichen, ist die Gewährleistung von Stabilität und Robustheit elementare Voraussetzung für das Gesamtsystem.

Das System gliedert sich entsprechend dieser Anforderungen in drei funktionale Komponenten: Transportkoordination, mobile Kommunikation und Qualitätsüberwachung (siehe Bild 1).

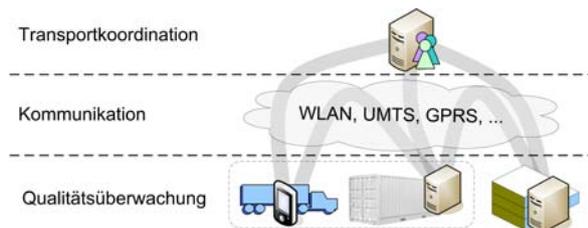


Bild 1 Intelligentes Transportsystem und seine Komponenten

Diese drei Komponenten bilden gemeinsam ein intelligentes Transportmittel für selbststeuernde Transportlogistik und werden in den folgenden Abschnitten genauer dargestellt.

2.1 Transportkoordination

Selbststeuerung ist insbesondere durch die dezentrale und autonome Entscheidungsfindung der logistischen Objekte sowie deren Koordination untereinander gekennzeichnet. Für die Transportlogistik bedeutet das, die zu versendende Ware und die verfügbaren Transportmittel werden jeweils durch Softwareagenten repräsentiert, die mit individuellen Zielen ausgestattet sind. Der Warenagent ist bestrebt, innerhalb des Lieferzeitfensters und einem vorgegebenen Budget zum Auslieferungsort zu gelangen. Der Transportmittelagent maximiert seine Auslastung und letztendlich den eigenen erwirtschafteten Profit bei gegebenen Grund- und Betriebskosten. Transportmittel und Ware

sind u. a. durch ihre technischen Fähigkeiten auf der einen und Anforderungen auf der anderen Seite charakterisiert (z. B. Kühlung oder Online-Sensorüberwachung). Ihre Ziele und Fähigkeiten ergeben die Notwendigkeit und Möglichkeit zur Kooperation.

Das Auffinden entsprechend qualifizierter Partner oder Dienste ist ein Standardproblem in der Agentenforschung (siehe z. B. [1]). Zum einen müssen Anforderungen und Fähigkeiten so formuliert sein, dass ein automatischer Abgleich möglich ist. Zum anderen ist aus einer potentiell sehr großen Menge möglicher Partner (in den Szenarien arbeiten teilweise über tausend Agenten) eine geeignete Untermenge zu identifizieren. Als letzter Schritt wird eine Verhandlung der Kooperationsbedingungen durchgeführt, die ggf. in einem Vertrag endet.

Der automatische Abgleich von Anforderungen und Fähigkeiten kann in der einfachsten Form durch *string matching* realisiert werden. Für komplexere Probleme sind formallogische Beschreibungen adäquater. In unserem Ansatz wird dies durch auf Beschreibungslgik basierenden OWL-Ontologien [2] umgesetzt, mit denen auch Hierarchien oder komponierte Fähigkeiten als Klassen repräsentierbar sind.

Um potentielle Kooperationspartner aus der großen Menge von Agenten zu identifizieren, gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Der Agent hat bereits Bekanntschaft mit qualifizierten Partnern gemacht und verhandelt mit diesen direkt.
2. Der Agent kennt Dienstvermittler, bei denen er seine Dienstleistung bzw. seinen Dienstleistungswunsch als Ontologiebeschreibung angibt. Der Vermittler informiert den Agenten, sobald geeignete Partner bekannt sind.

Dienstvermittler sind als Softwareagenten realisiert. Da ein einziger Vermittler eine große Menge zu untersuchender Agenten zu bewältigen hätte, ermöglicht unser Ansatz eine Spezialisierung und/oder Regionalisierung der Vermittler.

Der von uns implementierte Vermittler informiert ein angemeldetes Transportmittel, sobald geeignete freie Waren verfügbar sind. Die Ware selbst wird nicht durch den Vermittler sondern ggf. durch das Transportmittel kontaktiert. Hierbei findet eine Verhandlung zwischen beiden Agenten um die Transportkonditionen statt. Für Agenten-Verhandlungen hat die FIPA als IEEE-Standardisierungsorgan für Agenten Interaktionsprotokolle definiert. Für die Verhandlung zwischen Transportmittel und Ware wird ein adaptiertes *Iterated Contract Net Protocol* eingesetzt [3], bei dem die *Call-for-Proposal*-Phase an den Vermittler gerichtet ist. Das Transportmittel sendet ein Transportangebot (*proposal*) an die Ware, die jenes ablehnt, annimmt oder nachverhandelt. Dabei berücksichtigt die Ware, Angebote unterschiedlicher Transportmittel für die Entscheidungsfindung.

[Beh06a] Behrens, C.; Becker, M.; Gehrke, J. D.; Jedermann, R.; Görg, C.; Herzog, O.; Lang, W.; Laur, R.: Ein Multiagentensystem für Selbststeuerung in der Transportlogistik. In: Fachtagungsberichte VDE Kongress 2006. Innovations for Europe, Aachen, 2006, S. 29-34

Eine Koordination zwischen den logistischen Objekten kann in jeder Phase des Transportprozesses stattfinden. So kann bei einem Problem, dass z. B. durch die Qualitätsbewertung (Abschnitt 2.3) erkannt wurde, der Transportplan adaptiert und die Prozessrobustheit gesteigert werden. Dies kann auch einen Wechsel des Transportmittels beinhalten.

Weitere implementierte Koordinierungsdienste betreffen die Routenplanung und Verkehrsinformationen. Die Agenten der Transportkoordination wurden auf Basis der Agentenumgebung JADE implementiert.

2.2 Kommunikation

Bedingt durch die bereits vorgestellten Anforderungen, insbesondere der Mobilität und der Robustheit, wurde die Komponente ‚Kommunikationsgateway‘ entwickelt. Diese Komponente bietet die Anbindung der mobilen, lokalen Komponenten für die Selbststeuerung zur Ausfallsicherheit über diverse Kommunikationsnetze.

Das Kommunikationsgateway befindet sich auf dem Transportfahrzeug und hat als lokale Verbindung zu den Sensoren eine Basisstation für ein drahtloses Sensornetz auf Basis des Übertragungsstandards 802.15.4 [4]. Zusätzlich hat es die Möglichkeit, über drei verschiedene Kommunikationssysteme zu kommunizieren, nämlich Wireless Local Area Network (WLAN), Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) und General Packet Radio Service (GPRS). Diese sind in Bild 2 durch die verschieden-graustufigen Geräte, Pfeile und Antennen angedeutet.

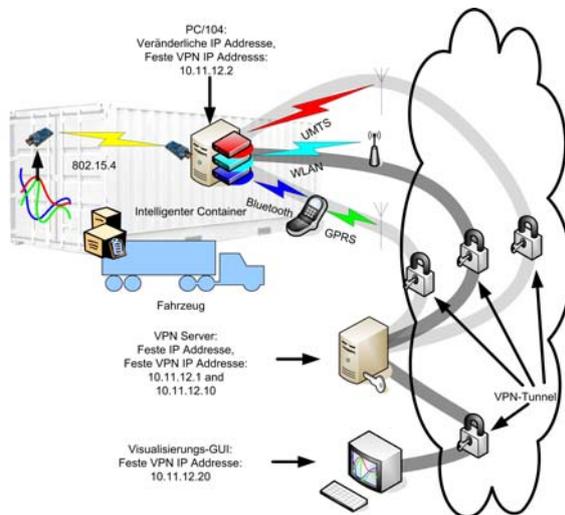


Bild 2 Kommunikationsgateway

Da durch all diese Netze unterschiedliche Adressen an das Gerät vergeben werden, wurde durch das Errichten eines virtuellen privaten Netzes (VPN [5]) eine zusätzliche einheitliche, permanente Adresse vergeben. Unter Benutzung des VPN-Tunnels und der festen Adresse kann so eine Unabhängigkeit vom verwendeten Kommunikationstransportnetz erreicht wer-

den. Die Umschaltung des Kommunikationsnetzes erfolgt sowohl für den Datenlieferanten (hier das Sensornetz) als auch für den Datenempfänger (z.B. eine Visualisierungsoberfläche) transparent. Diese Umschaltung erfolgt lokal, das heißt nicht netzseitig gesteuert, und ist somit auch ein Teil der Selbststeuerung, hier in der Kommunikation.

Derzeit wird bei einem Ausfall eines Netzes auf ein anderes Netz umgeschaltet. Zukünftig soll jedoch die Entscheidung, wann und auf welches Netz umgeschaltet wird, basierend auf so genannten ‚Policies‘ getroffen werden. Diese Policies, syntaktisch in Policy-Sprachen [6] beschrieben, werden zusammen mit den Informationen über verfügbare Netze und deren Qualität als Eingabe in einer Policy-Engine ausgewertet. Die Entscheidung, die die Policy-Engine trifft, wird durch das Kommunikationsgateway ausgeführt.

2.3 Qualitätsbewertung

Selbststeuernde logistische Prozesse benötigen Informationen über ihre Umgebung, um Entscheidungen treffen zu können. Diese Entscheidungen werden durch externe Faktoren (z.B. Verkehrssituation, Liefertermine, Marktpreise), aber auch durch interne Faktoren wie den Zustand bzw. die Qualität der transportierten Ware beeinflusst. Um die Qualität der Ware sowie deren Änderung während des Transportprozesses zu bestimmen, ist die Einbindung von Sensoren zur Überwachung des Frachtraums erforderlich.

Die für eine Qualitätsbestimmung relevanten Umweltparameter und deren zulässige Wertebereiche sind abhängig vom transportierten Warentyp. Relevant ist dies insbesondere für die Logistik verderblicher Güter. Laut [7] verderben etwa 10% dieser Güter vor dem Verkauf. Um eine Aussage über den Reifezustand bzw. die Qualität der Ware zu treffen, muss ein Überwachungssystem in der Lage sein, am momentanen Standort der Ware (Lager oder Transportmittel) die Sensordaten aus der Umgebung zu empfangen und diese Information zu interpretieren. Dieses dynamische Qualitätsmodell ist durch zwei Agenten realisiert.

Beim Start eines Transportauftrags für eine Ware werden beim Versender diese beiden Agenten erzeugt. Der *Paketbegleitagent* enthält Informationen über den Transportauftrag und sichert dessen korrekte Ausführung. Er übernimmt deshalb die eigentliche Transportkoordination für die Ware und verbleibt bei dem Versender.

Der *Bewertungsagent* berechnet durch warenspezifische Modelle den Einfluss der momentanen Umgebungsparameter während des Transports auf die Qualität des Transportguts. Dieser Agent begleitet daher die physische Ware während des Transports und muss deshalb in der Lage sein, zwischen den Agentenplattformen in Lagern und Transportmitteln zu migrieren.

[Beh06a] Behrens, C.; Becker, M.; Gehrke, J. D.; Jedermann, R.; Görg, C.; Herzog, O.; Lang, W.; Laur, R.: Ein Multiagentensystem für Selbststeuerung in der Transportlogistik. In: Fachtagungsberichte VDE Kongress 2006. Innovations for Europe, Aachen, 2006, S. 29-34

Daher ist er als mobiler Softwareagent ausgeführt. Weiterhin muss jedes Lager und jedes Transportmittel über die entsprechenden Plattformen verfügen, um diese Bewertungsagenten der enthaltenen Waren auszuführen [8].

Die Migration des Agenten erfolgt bei jedem Umladevorgang der Ware mittels eines der Kommunikationswege des im vorherigen Abschnitt beschriebenen Kommunikationsmoduls. Diese Umladevorgänge werden mit Hilfe der in der Logistik vielfach eingesetzten RFID-Technologie erkannt. Hierzu wird auf jedem RFID-Tag neben dem Warentyp zusätzlich die Adresse des letzten Ausführungsortes des Bewertungsagenten gespeichert. Wird das RFID-Tag beim Ein- oder Umladen einer Ware gelesen, wird der Bewertungsagent von dieser Adresse angefordert und auf die lokale Rechnerplattform übertragen. Dieser Agent enthält neben dem Modell den momentanen Qualitätsindex des Transportguts.

Die Sensoren zur Aufnahme dieser Umweltparameter werden durch drahtlose Sensornetze auf Basis des Standards IEEE 802.15.4 eingebunden [9, 10]. Dies erlaubt eine einfache Integration einer beliebigen Anzahl von Sensoren in das System. Die Überwachung der Transportgüter kann daher durch Sensorknoten erfolgen, die sich bereits im Transportmittel befinden oder Transportgüter können ihre eigene (Spezial-) Sensorik mit in die Warenüberwachung einbinden. Ebenso kann im Qualitätsmodell festgelegt werden, welche Umweltparameter in das Modell miteinbezogen werden. Falls ein von der Ware vorgegebener Sensortyp nicht im Transportmittel vorhanden ist, wird dies dem Ladepersonal signalisiert und der entsprechende Sensortyp angefordert. Derzeit können die Umweltparameter Temperatur, Luftfeuchte, Beschleunigung, Licht sowie Gaskonzentration (z.B. CO₂) erfasst werden.

Das komplette System ist als funktionsfähiges Modell eines intelligenten Transportsystems im Maßstab 1:8 umgesetzt und enthält die drei zuvor beschriebenen Komponenten.

3 Umsetzung

Dieser Abschnitt beschreibt die Einbindung des zuvor beschriebenen intelligenten Transportsystems in ein Demonstratorsystem, welches die Umsetzbarkeit der Selbststeuerung in der Transportlogistik anhand eines einfachen Szenarios zeigt.

3.1 Demonstrator

Kernelement des Demonstrators ist ein rundenbasierter Agentensimulator, in den die Agentenplattform eingebunden ist. In der Agentenplattformen werden die Dienste wie z.B. Routenplanung und der eigentli-

che Dienstvermittler, ausgeführt sowie die Repräsentanten der am Szenario beteiligten logistischen Objekte. Hierzu sind insgesamt neunzehn deutsche Städte von Nord- bis Zentraldeutschland als Lager/Marktplätze sowie die wichtigsten Autobahnen als Verbindungswege im Simulator implementiert.

Durch die Art der Realisierung ist es möglich, jeden Agenten in der Simulationsplattform mit einem realen physischen Objekte zu verbinden oder ihn lediglich als rein simulierte Instanz zu verwenden. Im gezeigten System (Bild 3) erfolgt auf diese Weise die Einbindung des intelligenten Transportsystems in den Simulator durch den Austausch FIPA-konformer Nachrichten. Der virtuelle Frachtbetreuer erhält reale Sensordaten zur Berechnung der Qualität und Informationen der RFID-Leser über das Ein- und Ausladen von Waren. Ebenso kann der Fahrer des intelligenten Transportmittels durch einen PDA mit Informationen über Routenplanung und weitere Parameter versorgt werden. Der momentane Status der Simulation wird über eine Visualisierungsoberfläche dargestellt.

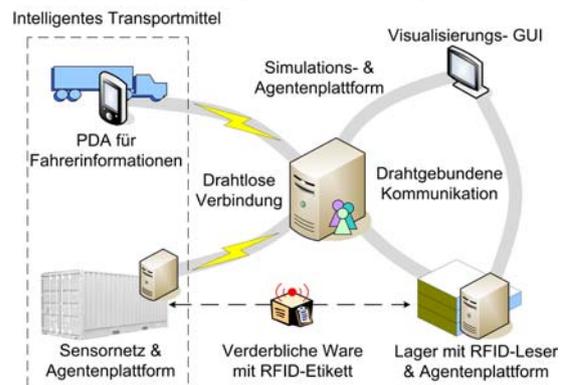


Bild 3: Aufbau der Simulationsumgebung

3.2 Szenario

Basisszenario für die Demonstration von Selbststeuerung bildet hierbei der Transport einer Ladung hochverderblicher Lebensmittel von Bremerhaven nach Frankfurt in dieser Simulationsumgebung. In Rahmen dieses Szenarios existieren in der Simulationsplattform zwei Kühl-Lkw, die über die notwendige Online-Sensorüberwachung verfügen. Einer dieser Lkw ist über die Simulationsplattform mit dem Hardwaremodell des intelligenten Transportmittels verbunden und erhält somit echte physische Daten. Dieser Lkw steht zu Beginn in Osnabrück, der zweite simulierte Kühl-Lkw befindet sich zunächst in Frankfurt.

3.3 Ablauf

Zu Beginn des Szenariolaufs wird im Lagerhaus in Bremerhaven ein Transportauftrag über eine Ladung hochverderblicher Lebensmittel nach Frankfurt er-

[Beh06a] Behrens, C.; Becker, M.; Gehrke, J. D.; Jedermann, R.; Görg, C.; Herzog, O.; Lang, W.; Laur, R.: Ein Multiagentensystem für Selbststeuerung in der Transportlogistik. In: Fachtagungsberichte VDE Kongress 2006. Innovations for Europe, Aachen, 2006, S. 29-34

zeugt. Der hierbei erzeugte Paketbegleitagent publiziert seinen Transportauftrag an den Dienstvermittler. Für die Übernahme dieses Auftrags kommen nur die beiden im Szenario befindlichen Kühl-Lkw in Frage. Aufgrund seines kürzeren Weges nach Bremerhaven nimmt der in Osnabrück wartende Kühl-Lkw den Auftrag an. Sobald dieser Lkw in Bremerhaven ankommt, kann er beladen werden. Hierzu wird die entsprechende Ware in das Modell des intelligenten Transportmittels verladen und durch das Lesen seines RFID-Tag erkannt, wodurch der Migrationsprozess des Warenbewertungsagenten auf die Plattform des Kühl-Lkw gestartet wird. Sobald alle notwendigen Sensoren zur Überwachung im Transportmittel vorhanden sind, kann der Transport starten. Über das Simulationssystem lassen sich Störungen in den Szenariolauf einbringen, um die Robustheit des Systems zu überprüfen. So können Verkehrsstörungen auf jeder Teilstrecke der in der Karte befindlichen Autobahnen simuliert werden. Ist die Route eines der Lkw betroffen, so wird dieser über einen Verkehrsinformationsdienst verständigt und plant daraufhin eine neue Route. Im konkreten Szenario wird zu Beginn des Transports eine Route über Hannover geplant, da diese die schnellste Strecke von Bremerhaven nach Frankfurt darstellt. Nach Einbringen einer Verkehrsstörung vor Hannover wird eine neue Route über Dortmund geplant, die die Störung umgeht und die nächst schnellste Route darstellt. Der Wechsel zwischen verschiedenen Kommunikationswegen kann ebenfalls im Demonstrator dargestellt werden. Falls eine bestehende Verbindung (z.B. WLAN) nicht mehr verfügbar ist, schaltet das Kommunikationsmodul automatisch auf das nächste, verfügbare Kommunikationsmittel (z.B. UMTS) um. Eine Transportstörung, die die Qualität der transportierten Güter beeinflusst, kann beispielsweise durch steigende Temperatur im Transportmittel gezeigt werden, wie es z.B. bei Ausfall eines Kühlaggregats geschieht. Dadurch verringert sich der Qualitätsindex der Ware. Sinkt dieser Wert unter eine zu Transportbeginn festgelegte Schwelle, wird die Routenplanung verständigt, um den Weg zum nächsten Kühllager zu planen und dort die Ware vorübergehend einzulagern. Der Dienstvermittler verständigt den nächsten freien Kühl-Lkw, der den Transportauftrag erfolgreich zu Ende führt.

4 Zusammenfassung

Die steigende Komplexität logistischer Lieferketten macht neue Koordinierungsmethoden notwendig. Das Konzept der Selbststeuerung durch Repräsentation mit Softwareagenten ist ein Lösungsansatz, der vom SFB 637 verfolgt wird. Hierbei wurde ein aus drei Teilsystemen (Transportkoordination, Kommunikation und Qualitätsüberwachung) bestehendes System zur Selbststeuerung in der Transportlogistik entwi-

ckelt. Anhand dieses Demonstrators konnte das Funktionsprinzip der Selbststeuerung nachgewiesen werden. Das Demonstratorsystem wird auf weitere Aspekte der Selbststeuerung erweitert und verwendet, um zukünftig die Leistungsfähigkeit sowie die Grenzen der Selbststeuerung zu erforschen.

5 Danksagungen

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“ unterstützt.

6 Literatur

- [1] Sycara, K. et al.: Dynamic Service Matchmaking Among Agents in Open Information Environments. ACM SIGMOD Record, 28(1):47-53, Mar. 1999.
- [2] McGuinness, D.L. and van Harmelen, F.: OWL web ontology language overview. Internet: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>, Feb. 2004.
- [3] Foundation for Intelligent Physical Agents: FIPA standard status specifications. Internet: <http://www.fipa.org/repository/standardspecs.html>, 2002.
- [4] IEEE Standard 802.15.4: PHY & MAC for LR-WPAN. IEEE Computer Society, New York, NY, USA, Okt. 2003.
- [5] Feilner, M.: OpenVPN: Building and Integrating Virtual Private Networks, ISBN 190481185X, May 2006.
- [6] Damianou, N. et. al.: Ponder: A Language for Specifying Security and Management Policies for Distributed Systems, The Language Specification Version 2.3, Imperial College Research Report DoC 2000/1, Okt. 2000.
- [7] Roberti, M.: RFID will help keep perishables fresh. RFID journal, Aug. 2005.
- [8] Jedermann, R. et. al.: Realisierung lokaler Selbststeuerung in Echtzeit: Der Übergang zum intelligenten Container. 3. Wissenschaftssymposium Logistik, Dortmund, pp. 145--166, Mai 2006
- [9] Schmid, F.: Radio Frequency Identification - Standards, Regulations, Projects. 17. Treffen der VDE/ITG-Fachgruppe 5.2.4, Bremen, Jan. 2006.
- [10] Behrens, C. et. al.: Wireless Sensor Networks as an Enabler for Autonomous Logistic Processes. REALWSN'06, Uppsala, pp. 85-86, Juni 2006.