

Konzeption eines entscheidungsunterstützenden Systems zur operativen Planung intermodaler Verkehre mittels Multiagentensystemen

Christian Hillbrand
Susanne Schmid
Rainer Frick

Veröffentlicht in:
Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012
Tagungsband der MKWI 2012
Hrsg.: Dirk Christian Mattfeld; Susanne Robra-Bissantz



Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik, 2012

Konzeption eines entscheidungsunterstützenden Systems zur operativen Planung intermodaler Verkehre mittels Multiagentensystemen

Christian Hillbrand

V-Research GmbH, Dornbirn, Österreich, E-Mail: christian.hillbrand@v-research.at

Susanne Schmid

V-Research GmbH, Dornbirn, Österreich, E-Mail: susanne.schmid@v-research.at

Rainer Frick

V-Research GmbH, Dornbirn, Österreich, E-Mail: rainer.frick@v-research.at

Abstract

Die operative Planung intermodaler Transportketten besteht aus vielfältigen, wechselseitig miteinander verknüpften Entscheidungsproblemen. Dieser Beitrag präsentiert einen konzeptionellen entscheidungsunterstützenden Ansatz zur simultanen Lösung dieser Fragestellungen auf Basis von Multiagentensystemen. Durch die im Rahmen dieser Arbeit verfolgte verteilte Modellierung von Strukturinformationen und Optimierungsmechanismen wird dem Umstand Rechnung getragen, dass in einem weit verzweigten Transportnetz eine kaum zu überschauende Anzahl von Akteuren in stark dynamischen Beziehungen zueinander steht, wodurch eine Abbildung eines globalen Modells nahezu unmöglich wird.

1 Einleitung

Die Globalisierung der Wirtschaft ist einer der wesentlichen Treiber für ein stetiges Ansteigen des internationalen Güterverkehrsaufkommens. Einerseits verursacht eine zunehmende Arbeitsteiligkeit innerhalb der Supply Chain bzw. die Auslagerung wertschöpfender Aktivitäten in Länder mit günstigen Produktionsbedingungen und andererseits die Disparitäten zwischen Produktionsstätten und Absatzmärkten einen gesteigerten Bedarf an Transportkapazitäten.

Wie aus Bild 1 hervorgeht, ist der Güterverkehr in der Europäischen Union (EU-27) zwischen 1995 und 2007 kontinuierlich um mehr als 38% angestiegen. Lediglich aufgrund der Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise war in den Jahren 2008 und 2009 ein Rückgang der Transportvolumina zu verzeichnen. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass dieses Wachstum fast ausschließlich aus dem Ausbau straßengebundener

Transportkapazitäten herrührt. Während sich die Zunahme des Straßengüterverkehrs im Vergleichszeitraum (1995-2007) auf 49% beläuft, beträgt das Wachstum des Bahnverkehrs nur ca. 17% und der Binnenschifffahrt ca. 19%. Darüber hinaus waren die stärksten krisenbedingten Rückgänge 2008/09 ebenfalls im Bahntransport zu verzeichnen, sodass die Transportleistung dieses Verkehrsträgers im Jahr 2009 unter dem Niveau von 1995 liegt (vgl. [1]).

Dieses überproportionale Wachstum des Straßengüterverkehrs in den vergangenen Jahren ist zum einen auf Kapazitätsengpässe im Bahn- oder Schiffsverkehr und zum anderen auf die Flexibilität dieses Transportmodus gegenüber anderen Verkehrsträgern zurückzuführen. Wie eine aktuelle Studie des Transportverhaltens aus mittel- und osteuropäischen Ländern zeigt, werden über 95% aller internationalen Sendungen derzeit im LKW-Direktverkehr abgewickelt, wodurch üblicherweise keinerlei Umschlags- oder Abfertigungsaktivitäten wie auch keine Bindung an getaktete Verkehre entstehen (vgl. [2]). Ein weiteres Merkmal straßengebundener Verkehrsträger ist, dass mit vergleichsweise geringen Volumina zu fixen Preisen transportiert werden kann, während bei Bahn- und Schiffsverkehr der Preis meist auslastungsabhängig ist, was wiederum einer erhöhten Koordination zwischen mehreren Verladern bedarf.

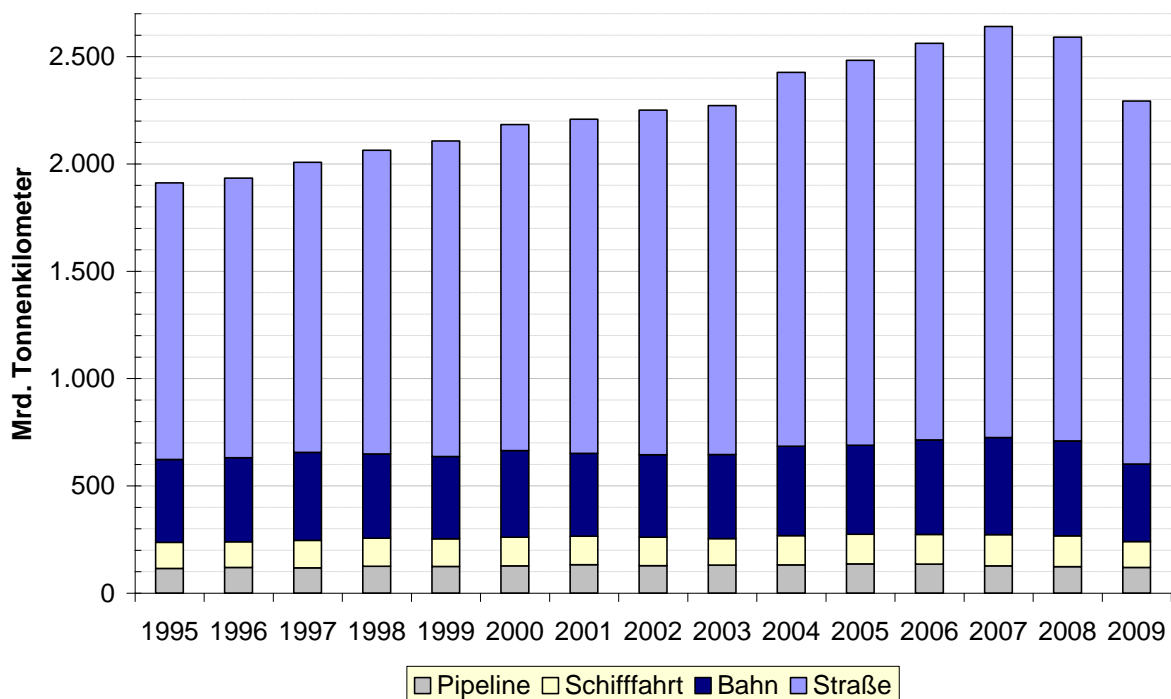


Bild 1: Entwicklung der Gesamt-Transportleistung 1995-2009 in der EU nach Transportmodi (Daten entnommen aus [1])

Wie einschlägige Untersuchungen zeigen, ist auch für die Zukunft mit einer weiteren Zunahme des Güterverkehrsaufkommens mit jährlichen Wachstumsraten von ca. 2% bis 2030 und dann abnehmenden Steigerungen von ca. 1% p.a. zu rechnen (vgl. [3]). Allerdings ist zu erwarten, dass der Ausbau straßengebundener Transportkapazitäten in zunehmendem Maße an natürliche Grenzen wie steigende Treibstoffpreise, ausgelastete Verkehrswege oder gesetzliche Beschränkungen, stoßen wird. Aus diesem Grund ist im Straßen-

Güterverkehr bis zum Jahr 2030 mit Wachstumsraten von ca. 1,1% p.a. und danach mit lediglich 0,5% p.a. zu rechnen (vgl. [3]). Da dadurch die notwendigen Transportkapazitäten in Zukunft immer weniger abgedeckt werden können, sind zusätzliche Kapazitäten auf anderen Verkehrsträgern, insbesondere der Bahn zu schaffen.

Ausgelöst durch diese äußeren Rahmenbedingungen und verstärkt durch zunehmend unattraktivere Produktionsbedingungen für Straßentransporte sowie eine Verbesserung der Angebote auf Seiten der Bahn durch steigende Nachfrage, werden in den kommenden Jahren viele Verlagerer kombinierte Transportarten gegenüber LKW-Direktverkehren bevorzugen. Allerdings sind die derzeit ungleich höheren Aufwände bei der Planung und Organisation derartiger intermodaler Transportketten neben dem eingeschränkten Angebot an kombinierten Services bis dato der Hauptgrund, davon Abstand zu nehmen. Bei kombinierten Verkehren sind neben Vor- und Nachlauf von bzw. zu einem Verladeterminale üblicherweise zumindest eine Hauptlaufstrecke bei einem Eisenbahn- oder Binnenschiffahrtsunternehmen sowie die jeweiligen Umschlagsaktivitäten zu organisieren. Darüber hinaus sind diese Hauptläufe getaktet, sodass die Produktions-Taktzeiten bei Sender und Empfänger entsprechend abgestimmt werden müssen oder die Güter zu einem definierten Zeitpunkt bereitgestellt werden müssen. Aufgrund der eher starren Kapazitätsbeschränkungen auf Eisenbahn- oder Schifffahrtslinien sind bei unzureichender Koordinationstätigkeit Auslastungsvariationen und damit zusammenhängend Preisschwankungen bzw. Bedarfsüberhänge zu erwarten.

Um verstärkt auch kombinierte Verkehrsträger in Anspruch nehmen zu können, müssen verladende Unternehmen deshalb zukünftig in der Lage sein, unter diesen Rahmenbedingungen die Konditionen im Rahmen der Transportplanung zu optimieren. Dies stellt eine weitaus höhere Herausforderung dar als die derzeit gängige Praxis der einfachen Beauftragung eines Logistikdienstleisters:

- Mehrere mögliche Routenalternativen sowie die Wahl der Umschlagsorte sind gegeneinander abzuwägen, um die optimale Transportrelation zu identifizieren.
- Neben der Vielzahl von Transport-Akteuren (Vor-/Nachlaufspediteur, Hauptlauf-Dienstleister, Umschlagsterminal, Lagerbetreiber) sind für eine Preisbildung und optimale Auslastung kombinierter Verkehrsträger zusätzlich ggf. weitere Verlagerer zu koordinieren.
- Bei Bedarfsüberhängen müssen flexibel und schnell alternative Transportmöglichkeiten identifiziert und beauftragt werden.

Diese Teilaspekte der operativen Planung intermodaler Verkehre sind wechselseitig voneinander abhängig, wodurch die damit zusammenhängenden Entscheidungsprobleme simultan gelöst werden müssen. Die derzeit existierenden Planungsansätze der einzelnen Akteure in einem intermodalen System zielen jedoch meist auf eine lokale Optimierung der jeweils eigenen Zielkriterien ab, wodurch in den meisten Fällen kein stabiles Gleichgewicht erreicht werden kann. Als Ursachen dafür stellt beispielsweise eine Untersuchung von Hoffmann [4] das so genannte Koopkurrenz-Phänomen fest. Letzteres beschreibt die häufig zu beobachtende Erscheinung, dass Akteure (bspw. Verlagerer) in einem intermodalen System in Konkurrenz zueinander stehen, jedoch zum Zwecke eines gemeinsamen Prozesses (z.B. intermodaler Transport) miteinander kooperieren müssen. Diese Situation verhindert meist den Abbau bestehender Informationsasymmetrien und damit eine erfolgreiche Koordination gemeinsamer Prozesse.

Dieser Beitrag präsentiert den konzeptionellen Rahmen und Gestaltungsvorschläge für ein entscheidungsunterstützendes System zur operativen Planung intermodaler Transportketten zwischen zwei Standorten. Wie in den folgenden Abschnitten gezeigt wird, handelt es sich bei einem Transportnetzwerk um ein System von miteinander lose in Beziehung stehenden Akteuren, welche jeweils über einen Teil der strukturellen Informationen dieses Netzwerkes verfügen. Dieses System ist zudem dynamischen Veränderungen unterworfen. Deshalb basiert dieser Ansatz auf einer Multiagenten-Architektur, bei der die Identifikation und Beauftragung einer optimalen Transportinstanz, anstatt durch Betrachtung eines zentralen Modells, durch Interaktion zwischen mehreren autonomen Agenten stattfindet.

Die genannten Entwicklungsaktivitäten sind eingebettet in ein Projekt zur Umsetzung vollautomatisierter intermodaler Transportketten auf Sendungsebene. Parallel zur hier dargestellten Konzeption und Entwicklung eines agentenbasierten Entscheidungsunterstützungssystems, welches auf das Ziel hin ausgerichtet ist, dezentrale Planungen zu erleichtern, fokussiert eine weitere Entwicklungsaktivität in Kooperation mit einem Lagertechnik-Spezialisten auf den automatisierten Umschlag zwischen Straße und Schiene. Dabei wird die Vision eines intelligenten Umschlaglagers verfolgt. Dieses bewerkstelligt einerseits vollautomatisiert die physische Verbringung von Gütern von der LKW-Rampe über ein Pufferlager bis in den Eisenbahnwaggon und umgekehrt. Darüber hinaus wird dieses Umschlaglager Transportkoordinations-Services zur Verfügung stellen, mittels derer ein Versand-Agent optimale intermodale Transportketten automatisiert planen kann.

Die Literaturstudie in Abschnitt 2 analysiert existierende Ansätze in der Planung intermodaler Transportketten und bietet einen Überblick über den Stand der Technik in Bezug auf Multiagentensysteme. Der eigentliche Ansatz der Konzeption eines entscheidungsunterstützenden Systems zur operativen Planung intermodaler Verkehre mittels Multiagentensystemen wird im darauf folgenden Abschnitt 3 beschrieben, bevor in Abschnitt 4 zukünftige Entwicklungs- und Umsetzungsschritte skizziert werden.

2 Literaturüberblick

Intermodale Transportnetze stehen im Blickpunkt des logistischen und ökologischen Interesses. Sie bieten mit der Kombination aus Straße, Schiene, Schiff und Flugverkehr die Möglichkeit, vielschichtigen Anforderungen nach Emissions- und Kosteneinsparungen gerecht zu werden. Mit ihrer Vielzahl an Netzakteuren und heterogenen Informationssystemen bringen intermodale Transportnetze aber auch eine ungeheure Komplexität mit sich und stehen damit im Mittelpunkt zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. Der nachfolgende Abschnitt liefert eine Übersicht der wichtigsten Entwicklungen.

Um die eingangs erwähnte Komplexität fassbar und gegebene Optimierungspotentiale nutzbar zu machen, werden Planungs- und Analysensysteme benötigt. Grundsätzlich kann zwischen zentralen, dezentralen und hybriden (Mischung aus zentral und dezentral), sowie strategischen und operativen Systemen unterschieden werden.

Der Unterschied zwischen strategischen und operativen Systemen liegt im zeitlichen Entscheidungshorizont. Strategische Planungsentscheidungen zielen auf eine langfristige Positionierung ab, operative Entscheidungen betreffen den tagtäglichen geschäftlichen Ablauf.

Zentrale Planungssysteme steuern bzw. planen das komplette Transportnetz über eine einzige Software-Instanz. Akteure, Fahrpläne, Transportressourcen, Aufträge, etc. werden von einem System erfasst, Routen und Umschlagspunkte geplant und mittels diverser Berechnungen Auslastung und Kosten analysiert. Römer [5] bietet eine Einführung in ein kommerzielles zentrales operatives Planungssystem. Es bietet umfangreiche Planungs-, Berechnungs- und Visualisierungsfunktionen, darunter auch geographische Landkarten und die Möglichkeit der Geokodierung von Adressen. Allerdings müssen die Stammdaten, d.h. die Netze der beteiligten Verkehrsträger, Fahrzeuginformationen und Terminals erst eingepflegt werden. Bei sehr offen gehaltenen Transportnetzen (siehe Oelbermann und Breier [6]), in denen verschiedene Logistikdienstleister ihre Angebote offerieren und häufig ausgewechselt werden, ist die Aktualität der Stammdaten somit nur schwierig aufrecht zu halten. Die Homogenisierung der unterschiedlich strukturierten Daten einzelner Akteure stellt ein weiteres Hindernis beim Einsatz zentraler Planungssysteme dar.

Unter dem Begriff der zentralen strategischen Analysensysteme fallen vor allem ereignisdiskrete Transportnetzsimulationen mit deren Hilfe sich auch intermodale Netze auswerten und optimieren lassen (vgl. dazu Fishburn et al [7]).

Dezentrale oder verteilte Planungssysteme bieten den Vorteil, heterogene Systeme miteinander zu einer Systemlandschaft zu verknüpfen. Dies geschieht, indem die einzelnen Informationssysteme über definierte Schnittstellen und Protokolle miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Solche Software findet ihre Anwendung vor allem auf mobilen Geräten [8].

Eine Ausprägung von verteilten Systemen sind die sogenannten Agentensysteme. Ein Agent (auch Software-Agent) bildet dabei eine funktionelle Einheit und agiert gemäß definierten Richtlinien autonom innerhalb eines Gesamtsystems. Meist bilden mehrere verschiedene Agenten mit unterschiedlichen Rollen (d.h. Funktionalitäten) ein Multi-Agent-System (kurz MAS oder auch Agent-based Modeling ABM) um den Anforderungen eines komplexen Systems gerecht zu werden. MAS haben sich aus der verteilten künstlichen Intelligenz entwickelt und finden heute eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten vor (siehe Weiss [9], Merlat [10] und Trappey et al [8]).

Im logistischen Umfeld lassen sich MAS zur Modellierung der Supply Chain einsetzen [11] [12]. So kann z.B. eine komplette Supply Chain mit Agenten nachgebildet, oder nur einzelne Glieder detailliert betrachtet werden. Häufiges Einsatzgebiet hier ist die Simulation logistischer Prozesse mittels Agenten (Stichwort Agent-based Simulation ABS) [13], darunter auch die Simulation von Transportnetzen [14].

Der Einsatz von agentenbasierten Planungssystemen für intermodale Transportnetze bietet sich ebenfalls aufgrund mangelnder Standardisierung von logistischen Software-Schnittstellen und Datenaustauschformaten an. Dabei werden verschiedenste Ansätze und Ziele in der Ausgestaltung der Agenten verfolgt. So kann z.B. jeder Akteur eines intermodalen Transportnetzes von einem eigenen Software-Agenten repräsentiert werden. Vorteilhaft ist dies bei einer überschaubaren Anzahl von Akteuren mit sehr unterschiedlichen Rollen. Alternativ können Agenten für die einzelnen Transportmodi definiert werden, wie z.B. separate Agenten für Straße und Schiene, ein Agent für die Warenumschlagsterminals, sowie Agenten für die Planung bzw. Abwicklung der Aufträge. Ebenfalls wird der Einsatz von rollenbasierten Agenten vorgeschlagen [15] [16]. So eine Rolle ist z.B. das Verladen von

Waren, Transport der Ware, Lagerung, etc. Viele wissenschaftliche Beiträge richten ihr Augenmerk auf Teilbereiche von intermodalen Transportnetzen wie z.B. die Modellierung von Terminals an Häfen [17] [18] oder an Eisenbahnstationen.

Davidsson et al [19] liefert eine gute Übersicht über diskutierte Varianten von MAS in intermodalen Transportnetzen. Die Autoren zeigen auch auf, dass die meisten wissenschaftlichen Beiträge zum Thema intermodale MAS sich auf theoretischer Ebene bewegen [15], kaum implementierte Systeme zu finden sind und sich hauptsächlich auf ein konkretes operatives Planungsziel konzentrieren. Die strategische langfristige Entscheidungsunterstützung durch intermodale MAS wird nur unzureichend wissenschaftlich untersucht. Intermodalität bezieht sich bei den meisten Beiträgen auf die Kombination von Straße und Schiene, andere Verkehrsträger werden ausgeklammert.

Die verwendete Methodik in intermodalen MAS stellt eine zentrale Frage dar. Bei Degano und Pellegrino [17] finden Petrinetze ihren Einsatz um die Aktivitäten in einem Container Terminal zu modellieren. Dabei liegt der Fokus auf den Synchronisierungsproblemen in einem solchen Terminal.

Gambardella und Rizzoli [20] verwenden MAS für die Verplanung von Aufträgen, der Ablauf, d.h. die Durchführung der Transporte auf Straße und Schiene wird mittels ereignisdiskreter Simulation realisiert. Dabei soll der Vergleich zwischen intermodalem und straßenbasiertem Hauptlauftransport gezogen werden. In der agentenbasierten Planungsaufgabe wird der Ansatz verfolgt, dass sich verschiedene Agenten zu einem Verbund zusammenschließen können, um ein gemeinsames Ziel zu verfolgen. So ein Verbund bezeichnet sich als Holon, wobei ein Agent als Kopf dient und die anderen Agenten von diesem bedient werden.

Dong und Li [15] schlagen vor, bereits bestehende zentrale Planungssysteme durch die Einbringung von Agenten flexibler zu gestalten. Sie sprechen hierbei von Agentifizierung eines zentralen in ein hybrides System.

Henesey et al [18] stellt den Einsatz von wissensbasierten Systemen in intermodalen MAS vor und beruft sich dabei auf ein bestehendes Konzept [21], welches die Entscheidungsfindung eines Agenten als Kernproblem ansieht und daher ein Expertensystem zu Rate ziehen können soll.

Bei Sliwczynski [22] liegt der Fokus auf der strategischen Wahl zwischen alternativen Transportoptionen und -modi für eine gegebene Region mit steigendem Transportaufkommen und zielt damit auf ein Entscheidungsunterstützungssystem ab. Dabei wird der MAS Ansatz implizit vereinnahmt durch die Konzeption von konfigurierbaren und unabhängigen Prozessen und Operationen.

Eine komplexe Planungsaufgabe ist durch die Zerlegung in Unteraufgaben besser zu bewältigen, weshalb der Einsatz von Multi-Agenten Systemen bei intermodalen Transportketten auf der Hand liegt. Jeder Agent wird dabei mit genau einer Aufgabe betraut um den Komplexitätsgrad im Rahmen zu halten. Eine Dezentralisierung des Systems, wie man es durch den Einsatz von MAS grundsätzlich erreicht, kommt in den meisten Fällen den beteiligten Akteuren mit ihren unterschiedlichen Informationssystemen entgegen. Je offener und flexibler so ein Transportplanungssystem ist, desto wichtiger sind die zugrunde liegenden Kommunikationsschnittstellen und -protokolle. Ebenso haben langfristige strategische Entscheidungsunterstützung wie auch operative Planung wachsende Bedeutung

in der wissenschaftlichen Untersuchung. Aus diesen Gründen greift der vorgestellte Beitrag die Planungsfrage auf und beschäftigt sich mit dem MAS Ansatz in lose gekoppelten heterogenen Netzen.

3 Konzeption eines agentenbasierten Planungssystems

Der Einsatz eines Planungssystems ermöglicht die automatische Planung, Optimierung und Beauftragung von Transporten, womit folgende Planungsaufgaben unterstützt werden:

- Identifizieren von Transportalternativen für eine gegebene Start-/ Zielrelation,
- Zerlegung der Gesamtstrecke in Teilstrecken,
- Bewerten der Alternativen auf Basis von Transportpreisen und Emissionswerten,
- Identifikation der optimalen Transportmöglichkeit,
- Identifikation des(der) günstigsten Transporteur(e) und
- Erstellung und Übermittlung von elektronischen Transportaufträgen.

Im Folgenden wird das konzeptionelle Modell für ein derartiges dezentrales Planungssystem von intermodalen Transportketten dargestellt. Dazu werden in einem ersten Schritt die Akteure des Planungssystems beschrieben und in weiterer Folge auf den Planungsvorgang mit Hilfe von Agenten eingegangen.

Die Akteure, die in der Transportplanung und -beauftragung involviert sind, sind in der folgenden Bild 2 dargestellt. Die Funktionen der einzelnen Stakeholder im System müssen aber nicht unbedingt personell getrennt sein, das bedeutet, ein Terminalbetreiber kann gleichzeitig auch ein Lagerbetreiber oder gar ein Transportkoordinator sein.

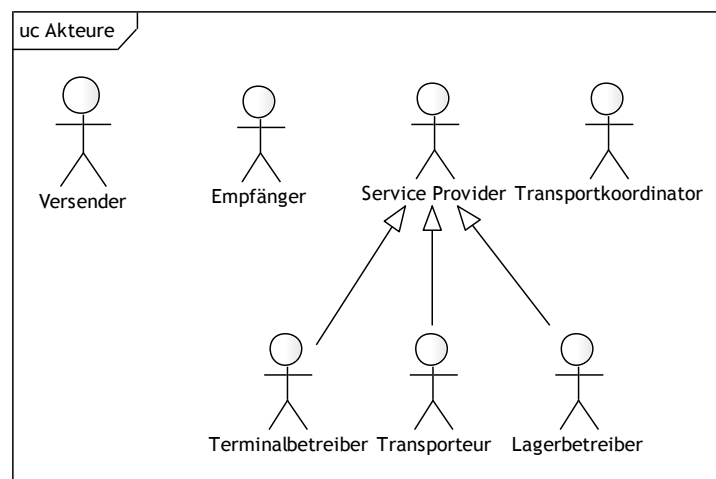


Bild 2: Akteure im Transportplanungssystem

- **Versender:** Ziel des Versenders ist es, den Transport einer Sendung mit festgelegten Start- und Zielstandort zu den bestmöglichen Konditionen (Transportkosten, Emissionswerte, Lieferzeitraum) zu beauftragen und deren aktuellen Status zu verfolgen.
- **Empfänger:** Der Empfänger ist daran interessiert, eine Sendung pünktlich entgegen zu nehmen und verfolgt deshalb ebenfalls den aktuellen Status der Sendung.

- **Service Provider:** Ein Service Provider bietet Leistungen an, die zur Abwicklung des Transports der Sendungen benötigt werden. Dieser kann eine der folgenden drei Ausprägungen haben:
 - Ein Transporteur bietet die Leistung des Transports von Gütern mit festgelegten Verkehrsträgern für eine Strecke zwischen zwei Terminals an.
 - Ein Terminalbetreiber betreibt ein (automatisiertes) Terminal und stellt auf diesem den Umschlag der Sendungen (Be- und Entladung) für ein- und ausgehenden Transporte zur Verfügung.
 - Der Lagerbetreiber verfügt über Lagerkapazität und stellt somit als Service die (Zwischen-)Lagerung von Sendungen zur Verfügung.
- Diese Services der einzelnen Provider werden von diesen jeweils zu bestimmten Konditionen (Zeitpunkt, Dauer, Preis, zusätzliche Informationen, etc.) angeboten.
- **Transportkoordinator:** Der Transportkoordinator koordiniert die einzelnen Transporte, indem er die Services, die von den Service Providern bei ihm registriert werden, verwaltet. Diese stellt er dem Versender-Agenten auf Anfrage zur Verfügung.

Die Aufspannung des Transportnetzes erfolgt durch die Registrierung der Leistungen von Service Providern bei einem der existierenden Transportkoordinatoren. In diesem Netzwerk können Sendungen, ausgelöst durch den Versender, von einem Start- zu einem Destinationsstandort verschickt werden, ohne dass dieser Kenntnis über das gesamte Netzwerk haben muss. Mit Hilfe von Agenten (siehe Bild 3) kommuniziert der Versender mit den anderen Akteuren im System und ist somit in der Lage, den Transport seiner Sendungen durch das Transportnetz zu planen, zu beauftragen und zu verfolgen.

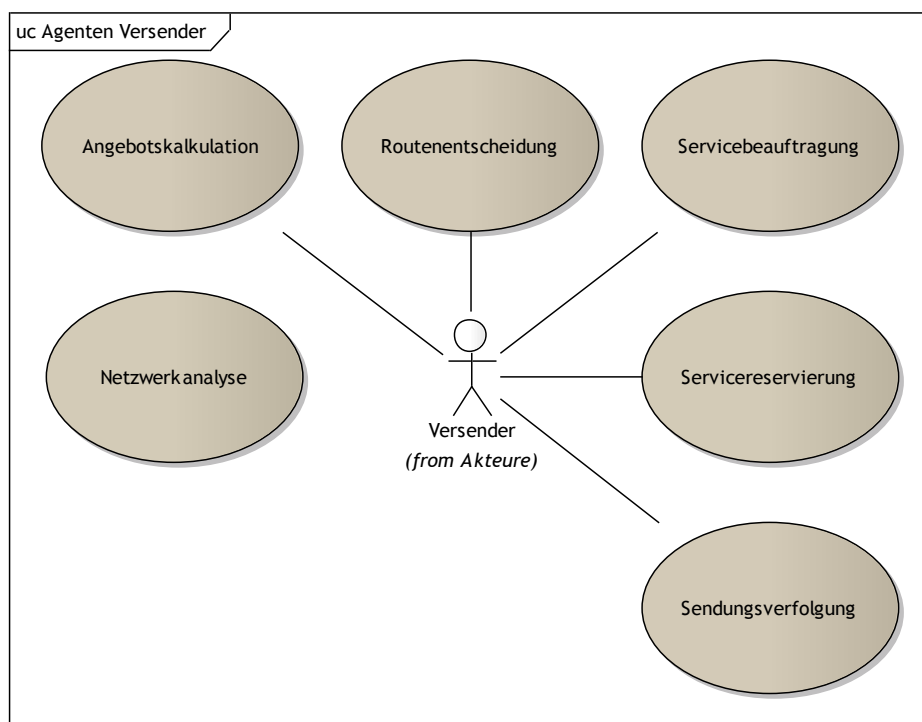


Bild 3: Agenten des Versenders

Im Folgenden werden die einzelnen Planungsschritte, die bei der Transportplanung durchlaufen werden, aus Sicht des Versenders beschrieben. Das Aktivitätsdiagramm in Bild 4 stellt diese Vorgehensweise mit detaillierter Darstellung der Netzwerkanalyse in graphischer Form dar.

Möchte ein Versender eine Sendung von einem Ausgangs- zu einem Zielstandort schicken, initiiert dieser den Planungsprozess, indem er die Routing-Optionen für diese Strecke abfragt. Dazu kontaktiert er alle ihm bekannten Transportkoordinatoren, die ihm eine Übersicht über die verfügbaren Routings liefern sollen. Um diese Liste zusammenstellen zu können, prüft der Transportkoordinator wiederum die bei ihm registrierten Start- und Zielrelationen der Transporteure. Über die Zielterminals werden darauffolgend weitere registrierte Transporte bzw. Transportkoordinatoren abgefragt, solange bis eine Gesamtrelation zum Zielort gefunden werden konnte (siehe Bild 4). Um die Richtung der Suche einschränken zu können, muss eine geeignete Suchstrategie festgelegt werden. Dazu könnte ein noch heuristischer Ansatz gewählt werden, der noch genauer zu spezifizieren ist. Anhand dieser Netzwerkanalyse können dem Versender mehrere Optionen zur Verfügung gestellt werden, die Ketten von Services darstellen, über welche die Sendung an ihr Ziel gelangen kann.

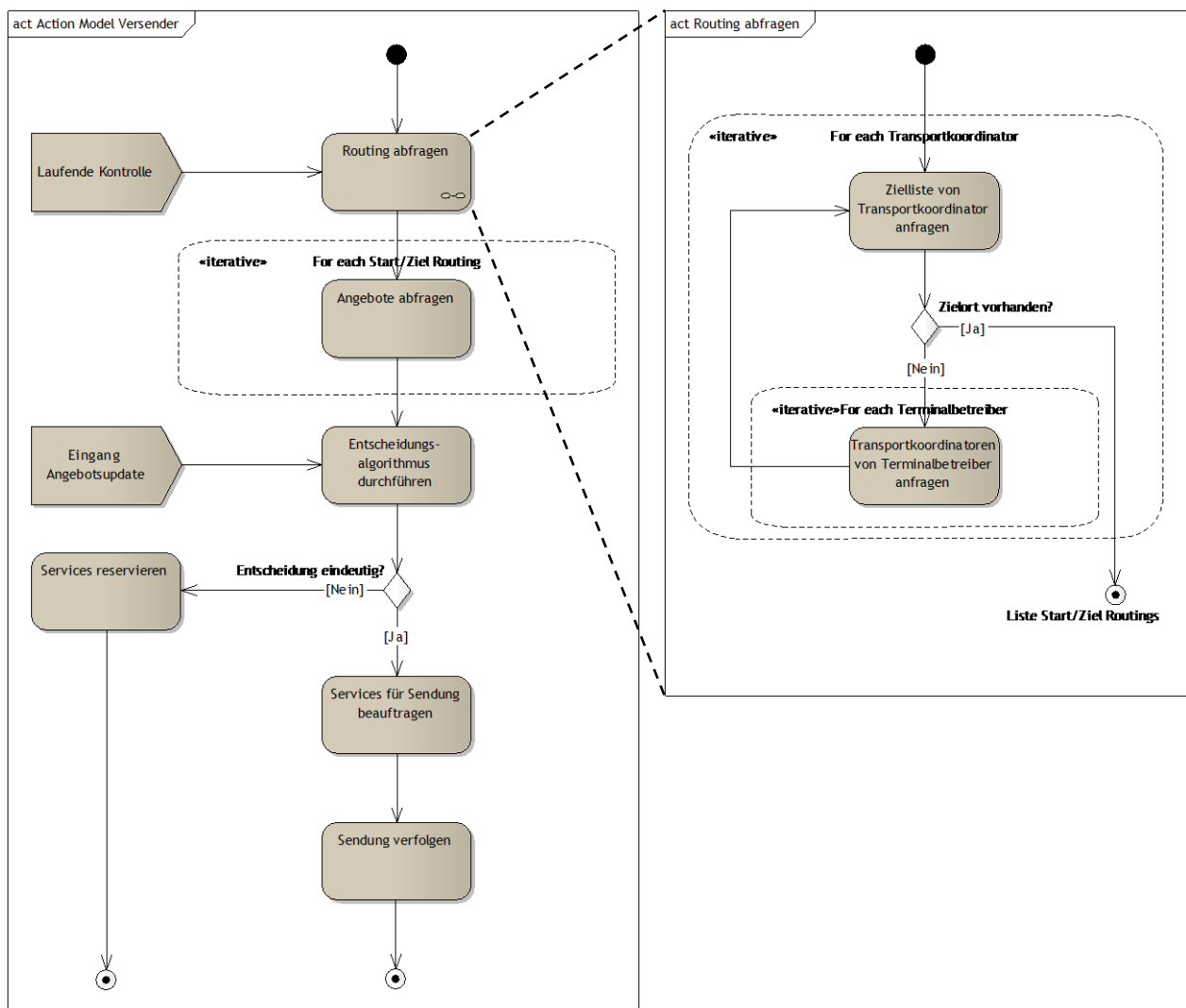


Bild 4: Transport planen, beauftragen und durchführen

Um eine Basis für den Vergleich dieser alternativen Transportketten zu schaffen, wird für jedes Routing eine Angebotsanfrage für alle beinhalteten Services an die jeweiligen Service Provider gestellt. Bei diesen Angeboten handelt es sich entweder um Fixpreisangebote, oder aber diese beinhalten eine Preisspanne, bei der im Best-Case-Szenario die Preisuntergrenze, im Worst-Case-Szenario die Preisobergrenze als letztendlicher Verkaufspreis festgelegt wird. Dieses variable Preismodell wird insbesondere bei auslastungsabhängigen Transportmodi herangezogen. Diese offenen Angebote sollen es den Anbietern von Service-Leistungen erleichtern, auf Auslastungsschwankungen zu reagieren. Gleichzeitig ermöglichen sie es diesem durch die flexible Preisbildung dennoch, den an ihren Leistungen interessierten Versendern auch günstige Preisvarianten anbieten zu können. Des Weiteren beinhalten die Angebote sonstige Informationen zu den Leistungen wie zeitliche Faktoren, Emissionswerte und weitere relevante Daten. Optional kann auch eine Gültigkeitsfrist mit dem Angebot verbunden werden.

Die Ergebnisse der Angebotsabfragen bilden die Grundlage für die Ausführung eines oder mehrerer festgelegter Entscheidungsmodelle zur Auswahl einer Transportroute. In diesen Modellen legt der Versender fest, welche Faktoren (Preis, Emissionswerte, Pünktlichkeit, etc.) in den erhaltenen Angeboten, welche Relevanz für die Fällung der Entscheidung zugeteilt wird. Das Ergebnis des Entscheidungsmodells ist im besten Fall eine eindeutige Auswahl einer Transportvariante (z.B. die eindeutig günstigste Route). Ist dies der Fall, kann im direkten Anschluss die fixe Beauftragung der Transportroute durchgeführt werden. Kann aber, insbesondere auf Grund der Überschneidung der Preisfenster (bestehend aus dem minimalen und maximalen Preis für die Leistung) der einzelnen Routings, keine eindeutige Entscheidung gefällt werden, können die einzelnen Varianten reserviert bzw. vorgemerkt werden. Dies ermöglicht es dem Versender eventuelle Preisänderungen oder Konkretisierungen (Verkleinerungen der Preisfenster) abzuwarten und dann auf einer neuen Ausgangsbasis eine Entscheidung durchführen zu können. Gleichzeitig hat der Service Provider die Möglichkeit, seine Angebote zu straffen, wenn genügend Interesse an diesen bekundet wird, sodass eine höhere Ressourcenauslastung gegeben ist, und ein Update an die Versender zu schicken, die den Service reserviert haben. Auf Grund dieser Angebotsupdates kann der Versender den Entscheidungsprozess erneut durchführen, mit dem Ziel eine Beauftragung der einzelnen Services eines ausgewählten Routings durchführen zu können. Zusätzlich zur Weiterleitung der Buchungsinformationen an die einzelnen Service Provider, beinhaltet die Beauftragung eines Routings auch die Stornierung möglicher vorhanden Reservierungen. Wird der Transport dann operativ durchgeführt, kann sowohl der Versender, als auch der Empfänger diese verfolgen (Track&Trace) und den aktuellen Routingstatus abfragen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Unterstützung wechselseitig abhängiger Entscheidungen im Zuge der operativen Planung intermodaler Transporte auf der Basis von Multiagentensystemen vorgestellt. Die Notwendigkeit des Werkzeugeinsatzes ergibt sich dabei vor allem aus der Komplexität der Planungssituation. Dabei sind zunächst aus dem Dienstleistungsangebot von Transporteuren, Umschlagsterminals und Lagerbetreibern alternative Transportketten zwischen Sender- und Empfängerstandort zu identifizieren, um daraus die optimale Route auszuwählen. Die Optimalität der Route ist dabei auch abhängig

von den jeweils offerierten Preisen für die Dienstleistungen, welche im kombinierten Verkehr sehr oft stark durch den Auslastungsgrad beeinflusst werden. Um letzteren Parameter abschätzen zu können sind mehrere Verlagerer miteinander zu koordinieren, um zuverlässige Preisinformationen ermitteln zu können. Diese Problem-Abhängigkeiten sowie die Veränderungsdynamik des Netzwerks in Bezug auf die involvierten Akteure erschwert oder verhindert eine ausreichend genaue Abbildung der Strukturen auf ein globales Modell. Um diesem Dilemma zu entgehen, verfolgt der hier vorgeschlagene Ansatz eine Verteilung der Informationen und Entscheidungsfindung auf mehrere autonom agierende Softwareagenten, welche jeweils einen Teil der Optimierungsaufgabe in Interaktion mit anderen Agenten übernehmen. Auf dieser Basis wird in diesem Papier eine aus mehreren spezialisierten Agententypen bestehende Architektur eines Entscheidungsunterstützungssystems vorgeschlagen und die Funktionsweise sowie Interaktionsmodi der Agenten beschrieben.

In einem weiteren Entwicklungsschritt sind die hier vorgestellten Konzepte in einem Funktionsprototyp zu implementieren. Das Verhalten des Gesamtsystems insbesondere im Hinblick auf die Fähigkeit stabile Gleichgewichtszustände zu erreichen soll aufbauend darauf in einer Simulationsstudie validiert werden.

5 Danksagung

Diese Arbeit beschreibt Ergebnisse eines Forschungsprojektes im Rahmen des K-Projektes „Integrated Decision Support Systems for Industrial Processes (ProDSS)“ und wurde innerhalb des österreichischen Strukturförderprogramms COMET (COMPetence Centers for Excellent Technologies) finanziert.

6 Literatur

- [1] Europäische Kommission (2011): EU transport in figures: Statistical pocketbook 2011. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- [2] Hillbrand, C. and Schmid, S. (2011): Multi-criteria evaluation of multi-modal traffic systems by discrete event simulation. In: Balsamo, S. and Marin, A. (Eds.), Proceedings of the 9th International Industrial Simulation Conference, ISC 2011. EUROSIS, Ostend.
- [3] Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Weyand, E., Schlesinger, M. und Limbers, J. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. O.V., Basel.
- [4] Hoffmann, A. (2006): Unternehmensübergreifendes Kostenmanagement in intermodalen Prozessketten - Theoretische Fundierung und erste empirische Ergebnisse. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- [5] Römer, S (2010): Intermodale Planungssystem in der Transportkette. Praxishandbuch Logistik.
- [6] Oelbermann, A, Breier, H (2009): Offene Transportnetze – Kollaborative Transportplanung unter Nutzung eines Taktes. Forschungszentrum Informatik, IPE, Universität Karlsruhe, IFL.

- [7] Fishburn, P, Golkar, J, Taaffe, K (1995): Simulation of transportation systems. Proceedings of the 27th conference on Winter simulation, Arlington, Virginia, US.
- [8] Trappey, A, Trappey, C, Hou, J, Chen, B (2004): Mobile agent technology and application for online global logistic services. www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm.
- [9] Weiss, G (2000): Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT-Press, Cambridge MA.
- [10] Merlat, W (1999): An agent-based multiservice negotiation for eCommerce. Paris 6 University, France.
- [11] Swaminathan, J, Smith, S, Sadeh, N (1997): Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. Berkeley, Pittsburgh, US.
- [12] Roy, D, Anciaux, D, Monteiro, T, Latifa, O (2004): Multi-agents architecture for supply chain management. Journal of Manufacturing Technology Management 15.
- [13] Parker, D, Manson, S, Janssen, M, Hoffmann, M, Deadman, P (2002): Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. Special Workshop on Agent-Based Models of Land Use, Irvine California, US.
- [14] Cetin, N, Nagel, K, Raney, B, Voellmy, A (2002): Large-scale multi-agent transportation simulations, ETH Zürich.
- [15] Dong, J, Li, Y (2003): Agent-based design and organization of intermodal freight transportation systems. Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Xi'an.
- [16] Roorda, M, Cavalcante, R, McCabe, S, Kwan, H (2010): A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. www.sciencedirect.com, Transportation Research Part E.
- [17] Degano, C, Pellegrino, A (2002): Multi-Agent coordination and collaboration for control and optimization strategies in an Intermodal Container Terminal. Politecnico di Torino, Scalable Architectures Multimedia Communications Laboratories.
- [18] Henesey, L, Davidsson, P, Persson, J (2006): Evaluating Container Terminal Transshipment Operational Policies: An Agent-Based Simulation Approach. Blekinge Institute of Technology, www.bth.se.
- [19] Davidsson, P, Henesey, L, Ramstedt, L, Törnquist, J, Wernstedt, F (2005): An analysis of agent-based approaches to transport logistics. www.sciencedirect.com, Transportation Research Part C 13.
- [20] Gambardella, L, Rizzoli, A (2002): Agent-based Planning and Simulation of Combined Rail/Road Transport, www.idsia.ch/platform.
- [21] Iglesias, C, Garijo, M, Gonzalez, J, Velasco J (1996) A Methodological Proposal for Multiagent Systems Development extending CommonKADS. Universidad de Valladolid, Spain, ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/iglesias/Iglesias.html.
- [22] Sliwczynski, B (2007): Planning process support for intermodal supply chains. Poznan School of Logistics, Poland, www.logforum.net.