

Ein KI-basierter Ansatz für eine dezentrale Transportsteuerung zur bedarfsgerechten Materialbereitstellung in der Montage

An AI-based approach for decentralised transport control enabling a demand-driven supply of materials of assembly systems

*Nina Vojdani
Mathias Knop*

*Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock*

Die zukunftsorientierte Ausrichtung von Produktions- und Logistiksystemen erfordert die Veränderungsfähigkeit eingesetzter Systeme. KI-basierte Methoden, wie der Einsatz intelligenter, autonomer Agenten, stellen einen Ansatz dar, veränderungsfähige Transportplanungs- und -steuerungssysteme zu konzipieren. Der Beitrag untersucht, inwieweit eine noch stärkere Berücksichtigung des agentenbasierten Planungsparadigmas zur Verbesserung der logistischen Leistung eines Transportsystems im Kontext veränderungsfähiger Produktionssysteme beitragen kann.

[Schlüsselwörter: Materialbereitstellung, Transportsteuerung, Multiagentensysteme, Veränderungsfähigkeit, Maintenance-Agent]

Forward-thinking design of production and logistics systems requires a consideration of changeability aspects. AI methods such as intelligent and autonomous agents represent an approach to design and build up changeable transport planning and control systems. This paper examines to which amount a more intensified consideration of the agent paradigm within planning and control of transport processes might lead to improved logistics performance of such processes.

[Keywords: assembly line feeding, transport control, multi agent systems, changeability, maintenance agent]

1 EINLEITUNG

Die Potenziale neuer Technologien sowie neue Anforderungen an Produktionsprozesse stoßen Veränderungen innerhalb von Produktion und Logistik an. Die Fähigkeit, sich an eine veränderliche Produktionsumwelt anzupassen, wird heute als strategischer Erfolgsfaktor wahrgenommen. Eine zukunftsorientierte Ausrichtung moderner Produkti-

onssysteme bedarf daher der Berücksichtigung der erforderlichen Veränderungsfähigkeit dieser Systeme im Zeitverlauf.

Insbesondere in Produktionsumgebungen, die eine hohe Veränderungsfähigkeit erfordern, erscheint der Einsatz selbststeuernder Systeme für die innerbetriebliche Logistik unerlässlich. Dies resultiert aus der wachsenden Komplexität realer Logistikprozesse bedingt durch die zunehmende Individualisierung und der wachsenden Bedeutung arbeitsteiliger Prozesse, aber auch aus der Möglichkeit, eine effizientere Prozesslenkung, einen reduzierten Planungsaufwand sowie eine höhere Robustheit von Plänen zu gewährleisten. In den vergangenen Jahren wurde hierzu eine Vielzahl technischer Lösungen für den innerbetrieblichen Transport entwickelt (z. B. zellulare Förderer, agentenbasierte Steuerungskonzepte etc.).

Am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik der Universität Rostock wurde ein Konzept für die adaptive Materialbereitstellungsplanung entwickelt, das die innerbetriebliche Transportplanung und -steuerung subsumiert [VK14, VK15]. Der Einsatz autonomer, fahrerloser Transportfahrzeuge (FTF) spielt hierbei eine maßgebliche Rolle. Mittels Simulation konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz autonom agierender FTF und zugehöriger Steuerungskonzepte eine adaptive Transportsteuerung realisiert werden kann.

Dieser Beitrag greift diese Arbeiten auf und diskutiert verschiedene Ansätze zur weiteren Verbesserung des entwickelten Steuerungskonzepts. Das agentenbasierte Planungsparadigma soll hier noch stärker in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt werden: durch eine noch stärkere Interaktion der eingesetzten Agenten mit ihrer Umgebung, eine Reduzierung des Broadcastings und einen verstärkten Einsatz von Peer-to-peer-Interaktionen soll die Performance des Transportsteuerungssystems gesteigert werden.

Durch Modellierung der autonomen FTF als cyber-physische Transportsysteme kann die Interaktion zwischen Agent und seiner Umwelt im Rahmen der Transportsteuerung abgebildet werden. Gezielt wird die Fähigkeit multi-agentenbasierter Systeme aufgegriffen, eine vernetzte Problemlösung zu ermöglichen, um kollektiv übergeordnete Ziele (z.B. effiziente und zuverlässige Versorgung der Montagekapazitäten) sicherzustellen.

2 ANFORDERUNGEN AN DIE MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG IM KONTEXT VERÄNDERUNGSFÄHIGER PRODUKTIONS- UND LOGISTIKSYSTEME

Der Einsatz dezentraler Konzepte im Rahmen der Transportsteuerung resultiert u. a. aus der wachsenden Komplexität realer Transportprozesse und den damit zusammenhängenden reduzierten Möglichkeiten einer adäquaten Komplexitätsbeherrschung. Die wachsende Komplexität von Transportprozessen wird durch zunehmende Unsicherheiten hinsichtlich verschiedener Planungsparameter bedingt: der Transportbedarf ist beispielsweise in veränderungsfähigen Produktionssystemen hinsichtlich Aufkommensort, -zeitpunkt, sowie Transportmenge im Vorherein nicht hinreichend bekannt, ebenfalls kann in der Praxis nicht per se von statischen Planungsproblemen ausgegangen werden. Vielmehr erfordert eine Transportplanung auch die Berücksichtigung von Zu- bzw. Abgängen von Transportaufträgen im Zeitablauf.

Den wachsenden Anforderungen an die Planung und Steuerung innerbetrieblicher Transportprozesse stehen die Möglichkeiten der Komplexitätsbeherrschung gegenüber. Zahlreiche Probleme der Transportplanung und -steuerung sind bereits unter Verwendung deterministischer Restriktionen nur näherungsweise unter Einsatz heuristischer Methoden lösbar. Die Berücksichtigung von Unsicherheiten oder Veränderungen der Planungsaufgaben im Zeitverlauf bedürfen anderer Methoden, z. B. eine dezentrale Problemlösung mittels Multiagentensystemen.

Konventionelle, zentrale Planungsansätze scheinen insofern den Anforderungen an die Planung veränderungsfähiger Produktionssysteme nicht zu genügen. Die Beherrschung veränderungsfähiger Produktionssysteme bedarf daher spezifischer Methoden. Zu diesen Anforderungen zählen die grundsätzliche Veränderungsfähigkeit der eingesetzten Systeme, die Leistungsorientierung im Rahmen erforderlicher Prozessbewertungen, die Berücksichtigung des dynamischen Charakters solcher Systeme, die Berücksichtigung von Unsicherheiten sowie die Selbststeuerungsfähigkeit [VK18].

Veränderungsfähigkeit bezeichnet das Vermögen eines Systems, auf veränderte Rahmenbedingungen zu reagieren bzw. diese zu antizipieren. Das Konzept der Veränderungsfähigkeit subsumiert Konzepte wie Flexibilität,

Wandlungsfähigkeit und Agilität. Eine Methode zur antizipativen Veränderungsplanung im Rahmen der Materialbereitstellung wurde in [VK18] präsentiert, Ansätze zur reaktiven Veränderungsplanung wurden in [VK14] und [VK15] diskutiert.

Ferner erfordert die Planung veränderungsfähiger Materialbereitstellungssysteme eine Leistungsorientierung. Obwohl dieser Aspekt selbstverständlich erscheint, gibt es Belege, dass die Planung von Materialbereitstellungsprozessen z. T. ohne hinreichende quantitative Untermauerung erfolgt [CP11]. Die Notwendigkeit eines klaren und in sich konsistenten Zielsystems wird insbesondere beim Vorliegen konkurrierender Ziele evident. So kann den Anforderungen veränderungsfähiger Produktionssysteme in Hinblick auf den Transportmittelbedarf allein dadurch Genüge getan werden, dass Transportsysteme ohne Berücksichtigung ihrer Auslastung und des zusammenhängenden Finanzmittelbedarfs in ausreichendem Umfang zur Verfügung gestellt werden. Es ist daher im Vorfeld eine bewusste Reflexion der Gewichtung verfolgter Ziele erforderlich (z. B. Auslastung der Transportsysteme vs. Versorgungssicherheit vs. Finanzmittelbedarf).

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung des dynamischen Charakters wurde eingangs bereits erläutert (z. B. Zugang weiterer Transportaufträge). Dabei sind sowohl operative als auch längerfristige Veränderungen im Zeitablauf zu berücksichtigen (vgl. [VK18]).

Die Berücksichtigung von Unsicherheiten spielt im Rahmen der Planung veränderungsfähiger Produktionssysteme eine entscheidende Rolle: die Mehrzahl aller Planungsparameter weist zum Zeitpunkt einer Planung Unsicherheit auf. Der Unsicherheit kann durch Bereitstellung einer hohen Wandlungsfähigkeit der Systeme begegnet werden (z. B. durch Bereitstellung zusätzlicher Kapazität), jedoch steigen die Kosten der Bereitstellung verglichen mit dem Nutzen einer höheren Wandlungsfähigkeit überproportional [WENZWDB07].

Schließlich sei auf die Selbststeuerungsfähigkeit veränderungsfähiger Produktionssysteme verwiesen: Veränderungen innerhalb des Transportsystems erfordern eine kontinuierliche Neuplanung. Die zu lösenden Probleme sind teilweise so komplex, dass diese nicht kontinuierlich durch menschliche Planer angestoßen werden können. Außerdem bietet Selbststeuerung die Möglichkeit, eine effizientere Prozesslenkung, einen reduzierten Planungsaufwand sowie eine höhere Robustheit nicht-deterministische Systeme zu erzielen [Win06].

3 TRANSPORTSTEUERUNGSKONZEPT AUTONOMER TRANSPORTSYSTEME

Auf Basis der definierten Anforderungen wurde am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik das Konzept der adaptiven Materialbereitstellung entwickelt.

Dieses weist zwei wesentliche Bausteine auf: zum einen sieht dieses Konzept einen strategischen, antizipativen Planungsblock vor, zum anderen existiert ein operativer, vorrangig reaktiv agierender Planungsblock.

Durch ersten wird sichergestellt, dass ein zu planendes Materialbereitstellungssystem ausreichend auf zukünftige Anforderungen und antizipierbare Veränderungen vorbereitet ist. Dazu werden Anforderungen an die Materialbereitstellung und insbesondere die Transportplanung identifiziert. Zu berücksichtigen ist hierbei die Möglichkeit, dass sich diese Anforderungen im Zeitablauf verändern können (beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Produktlebensphasen eines Produkts und daraus resultierender Anforderungen an die innerbetriebliche Logistik). Nach Identifikation der Anforderungen werden geeignete Bereitstellungskonzepte abgeleitet und hinsichtlich relevanter logistischer Ziele bewertet. Eine anschließende Modellierung als ein dynamisches Optimierungsproblem erlaubt die Auswahl langfristig robuster Materialbereitstellungsstrategien und Berücksichtigung antizipierter Entwicklungen in der Produktionsumwelt.

Durch den zweiten Planungsblock wird ein bereits implementiertes Materialbereitstellungssystem befähigt, durch Selbststeuerung auf kurzfristige, im Vorfeld nicht absehbare Veränderungen bzw. Störungen zu reagieren. Zweckmäßig erwies sich hierbei die Nutzung eines Multiagentensystems.

Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf einer agentenbasierten Realisierung der innerbetrieblichen Transportplanung und -steuerung als Teilaufgabe der Materialbereitstellung. Ein erstes Konzept wurde von Vojdani

und Knop [VK14] vorgestellt und soll hier mit dem Ziel erweitert werden, den Funktionsumfang sowie die Performance des Transportsteuerungssystems zu verbessern. Der Aufbau und das Steuerungskonzept werden vorab skizziert. Anschließend werden exemplarische Ansätze erläutert, die eine weitere Verbesserung des Steuerungskonzepts erlauben.

Es wird unterstellt, dass sämtliche Transportbedarfe innerhalb eines Produktionssystems durch autonom agierende fahrerlose Transportsysteme realisiert werden können. Der Einsatz unterschiedlicher FTF, z. B. um spezifische Transportanforderungen sicherzustellen, ist denkbar. Die FTF agieren innerhalb eines selbststeuernden Produktions- und Logistiksystems. Aufträge und Ressourcen innerhalb des Produktionssystems werden durch Agenten repräsentiert. Zur Veranschaulichung des Steuerungskonzepts sollen folgende Software-Agenten Berücksichtigung finden: Produktionsauftrags-Agent, Materialbereitstellungs-Agent, Transportmittelplanungs-Agent, Betriebsmittel-Agenten sowie Maintenance-Agenten (vgl. Abbildung 1).

Zur Vereinfachung wird auf die Darstellung von Schnittstellen zu anderen Teilsystemen der Materialbereitstellung verzichtet. Die Entwicklung eines Multiagentensystems unterliegt einem formalen Prozess, der hier nicht näher dargestellt werden soll und umfasst u. a. die Identifizierung von Rollen. Dabei wird ausgehend von stark abstrahierten Aufgabenbeschreibungen schrittweise das Verhalten der Software-Agenten in verschiedenen Situationen definiert.

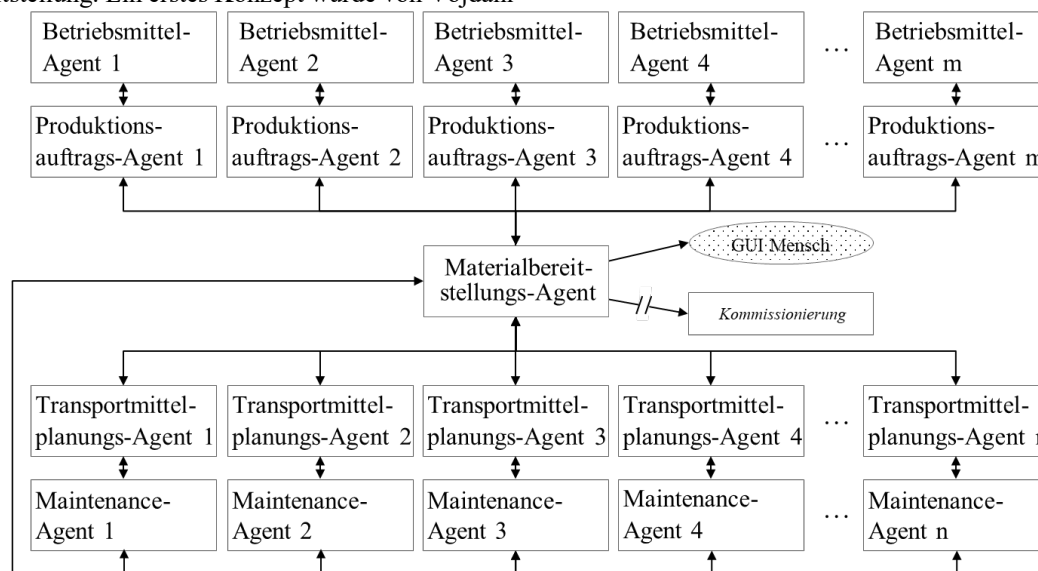


Abbildung 1. Agentenmodell mit Maintenance-Agent

Der Produktionsauftrags-Agent repräsentiert einen Montageauftrag und ist zum einen dafür verantwortlich, einen Montageauftrag auszuschreiben, d. h., einen geeigneten Montagearbeitsplatz auszuwählen, und zum anderen dafür, die Bereitstellung erforderlicher Materialien am gewählten Montagearbeitsplatz sicherzustellen. Ebenfalls obliegt es dem Produktionsauftrags-Agenten, Maßnahmen im Falle von Verzögerungen einzuleiten, z. B. aufgrund unzureichender Transportkapazitäten oder anderer Störungen innerhalb des Transportsystems.

Nach Auswahl eines Montagearbeitsplatzes übergibt der Produktionsauftrags-Agent eine Liste mit den erforderlichen Materialbedarfen sowie weiteren Eckdaten an den Materialbereitstellungs-Agenten, der die Ausschreibung der zugehörigen Transportaufträge an die Transportmittel vornimmt. Diese Ausschreibung kann auktionenbasiert realisiert werden. Die Transportmittel – repräsentiert durch ihre jeweiligen Transportmittelplanungs-Agenten – verfolgen jeweils gleiche Ziele und stehen untereinander in Konkurrenz. Ziel des Materialbereitstellungs-Agenten ist es, ein solches Transportmittel auszuwählen, dessen zugehöriger Transportmittelplanungs-Agent ein möglichst günstiges Angebot für die Bereitstellung eines Materialbedarfs unterbreitet. Das unterbreitete Angebot orientiert sich an der individuellen Zielerreichung der Transportmittelplanungs-Agenten durch Integration eines Transportauftrags in den Tourenplan eines Transportmittels. Der Materialbereitstellungs-Agent fungiert in der Verhandlung als Koordinator und sammelt sämtliche Materialbedarfe, die durch die Produktionsauftrags-Agenten an den Materialbereitstellungs-Agenten übergeben wurden. Ferner informiert der Materialbereitstellungs-Agent die Transportmittelplanungs-Agenten über neue Transportmittelanfragen im System. Die Transportmittelplanungs-Agenten unterbreiten daraufhin jeweils ein Angebot, das entsprechend vom Materialbereitstellungs-Agenten bewertet wird.

Aufgabe der Materialbereitstellungsplanung ist neben der Versorgung von Montagearbeitsplätzen ebenfalls die Entsorgung und Verbringung des Montageobjekts an andere Arbeitsplätze bzw. in den Lagerbereich (vgl. VDI 3639). Daher sind im Rahmen der Transportmittelplanung sowohl Liefer- als auch Abholaufträge zu berücksichtigen (Pickup-and-Delivery-Problem).

Die Transportmittelplanungs-Agenten repräsentieren die FTF. Die Transportmittelplanungs-Agenten sind für die Kapazitätsplanung der FTF verantwortlich. In Interaktion mit dem Materialbereitstellungs-Agenten ist es die Aufgabe der Transportmittelplanungs-Agenten, die Aufnahme neuer Transportaufträge in den Tourenplan eines FTF zu prüfen. Jeder Transportmittelplanungs-Agent verfolgt hierbei mehrere Ziele. Die Integration eines Transportauftrags in den Tourenplan eines FTF beeinflusst die individuellen Ziele des Transportmittelplanungs-Agenten (z. B. werden Ziele wie die Minimierung der Gesamttourenlänge oder der

Gesamteinsatzzeit eines FTF negativ beeinflusst, die Auslastung eines Transportmittels hingegen positiv).

Ein Transportmittelplanungs-Agent ist bei der Angebotsmittlung bestrebt, u. a. die Gesamteinsatzzeit der FTF, die Gesamtstreckenlänge des Tourenplans, die Gesamtzeit etwaiger Verspätungen sowie die Anzahl zu spät bedienter Aufträge zu minimieren. Die Auslastung eines Transportmittels ist jedoch gleichzeitig zu maximieren. Alle verfolgten Ziele können in Minimierungsziele überführt werden. Die aggregierten Zielwerte bei Aufnahme eines neuen Auftrags in den Tourenplan eines FTF (zur Ermittlung sei auf [VK14] verwiesen) werden als Angebot des Transportmittelplanungs-Agenten interpretiert. Aufgabe des Materialbereitstellungs-Agenten ist es nun, unter den Transportmitteln jenes auszuwählen, das den geringsten aggregierten Zielwert aufweist.

Die Gesamtheit der Transportmittelplanungs-Agenten findet aufgrund dieses Steuerungskonzepts kooperativ eine Lösung im Sinne des Gesamtsystems. Die Transportmittelplanungs-Agenten nehmen dabei trotz Beeinflussung individueller Ziele neue Transportaufträge zum Wohle des Gesamtsystems auf.

Die Unterbreitung eines Angebots kann die Verschlechterung des Zielwerts eines Transportmittelplanungs-Agenten bedingen. Diese sind daher bestrebt, möglichst günstige Angebote zu erarbeiten. Aufgrund der Komplexität des Planungsproblems ist die Identifikation einer optimalen Lösung in der Praxis nicht sicherzustellen. Ferner können Unsicherheiten hinsichtlich einzelner Planungsparameter (z. B. tatsächliche vs. geplante Fahrzeiten) im Rahmen der Planung kaum Berücksichtigung finden. Aus diesem Grunde wurden Heuristiken implementiert, die eine Integration von Aufträgen in individuelle Tourenpläne erlauben. Simulationsuntersuchungen am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik zeigen, dass selbst einfache Einfügeheuristiken (z. B. Sukzessive Einbeziehung) bereits gute Zielerreichungsgrade ermöglichen [VK14]. Nach Ausschreibung der Aufträge an ein Transportmittel können weitere Verbesserungen durch den Einsatz von Intra-Tour- und Inter-Tour-Verfahren erzielt werden. Bei Verwendung eines Intra-Tour-Verfahrens nimmt der Transportmittelplanungs-Agent eine Optimierung der eigenen Tour vor. Anhand der Zuschläge, die ein Transportmittelplanungs-Agent für eine Tour erzielt hat, wird unter Verwendung heuristischer Methoden eine Tourenoptimierung vorgenommen. Bei dem hier eingesetzten Inter-Tour-Verfahren werden Transportrelationen aus den Tourenplänen einzelner FTF herausgelöst, erneut ausgeschrieben und in Transportpläne anderer FTF integriert.

4 ANSÄTZE ZUR VERBESSERUNG AUKTIONSBASIERTER STEUERUNGSKONZEPTE

Anhand durchgeführter Simulationsstudien konnte gezeigt werden, dass obiges Steuerungskonzept gute bis sehr

gute Zielerreichungsgrade erzielen kann. Für nähere Ausführungen zu durchgeführten Simulationsstudien sei auf [VK14] verwiesen. Jedoch konnten auch Limitationen des beschriebenen Steuerungskonzepts identifiziert werden. Folgend sollen Ansätze diskutiert werden, um den identifizierten Limitationen zu begegnen.

Die in obigem Steuerungskonzept charakterisierten Transportmittelplanungs-Agenten besitzen ausschließlich Merkmale kommunikativer Agenten (vgl. [Dil04]):

- Die Transportmittelplanungs-Agenten fungieren innerhalb des Konzepts vorrangig als Recheneinheiten: auf Basis von Ausschreibungen werden Angebote ermittelt.
- Ferner weisen die Agenten ein internes Zielsystem auf und
- besitzen eine äußerst limitierte Repräsentation ihrer Umwelt (Interaktion mit dem Materialbereitstellungs-Agenten).

Zur Verbesserung der Systemperformance soll folgend der kommunikative Charakter der beteiligten Agenten noch stärker durch eine Erhöhung des Anteils von Peer-to-peer-Interaktionen zwischen den involvierten Transportmittelplanungs-Agenten sowie ein gleichzeitiges Verändern des Broadcastings in den Fokus gerückt werden. Ebenfalls soll die Wahrnehmung und Interaktion der FTF und zugehöriger Agenten mit ihrer Umgebung verstärkt werden.

Im Folgenden werden Ansätze zur Erweiterung des Steuerungskonzepts vorgestellt.

4.1 STÖRFALLBEWÄLTIGUNG

Fällt ein FTF aus, dem bereits Transportaufträge zugeordnet wurden, verbleiben die Transportaufträge bei diesem FTF, solange bis dieses wieder einsatzbereit ist. Dies kann Verzögerungen in Hinblick auf die Ver- und Entsorgung von Montagearbeitsplätzen bedingen. Insofern erscheint eine Integration eines Störfallmanagements in das Steuerungskonzept zweckmäßig.

Dazu wird das von Vojdani und Knop [VK14] vorgestellte Steuerungskonzept um Maintenance-Agenten erweitert. Diese erfassen Informationen über den Betriebszustand des jeweiligen FTF, nehmen auf dieser Basis eine Einsatzdauerprognose vor (Predictive Maintenance), leiten etwaige Maßnahmen im Störfall ein und interagieren mit dem Materialbereitstellungs-Agenten, um Maßnahmen im Falle eines bevorstehenden oder unvorhergesehenen Ausfalls eines FTF einzuleiten.

Die Information über eine Störung kann durch eine Vorankündigung über einen bevorstehenden Ausfall durch den Maintenance-Agenten des betroffenen FTF selbst oder durch Information durch andere FTF erfolgen (z. B. auf

Basis optischer Signale). Das FTF als cyber-physisches System muss dazu mit entsprechender Sensorik seinen Zustand sowie sein Umfeld überwachen.

Kündigt sich der Ausfall eines FTF an (z. B. durch Beobachtung des Betriebszustands eines FTF), informiert der Maintenance-Agent den Materialbereitstellungs-Agenten über den bevorstehenden Ausfall des FTF. Handelt es sich um einen unvorhergesehenen Ad-hoc-Ausfall, informieren die anderen FTF, die den Ausfall erkennen, ebenfalls den Materialbereitstellungs-Agenten über den Ausfall des betreffenden FTF. Der Materialbereitstellungs-Agent nimmt ggf. eine Neuausschreibung der Transportmittelbedarfe vor. Dies setzt vorab die Prüfung voraus, ob die erforderlichen Materialien im Lager- oder Kommissionierbereich vorrätig sind.

In obigen Darstellungen zum Steuerungskonzept wurde auf die Diskussion der Schnittstelle zum Kommissionierbereich verzichtet, weil diese zwar integraler Bestandteil des Materialbereitstellungs-, nicht jedoch des Transportsteuerungskonzepts sind. Die Kommunikation mit dem Kommissionierbereich obliegt dem Materialbereitstellungs-Agenten. Können erforderliche Materialien nach Ausfall eines FTF lagerseitig nicht erneut bereitgestellt werden, wird der Materialbereitstellungs-Agent entsprechend informiert. Dieser kontaktiert daraufhin die zugehörigen Produktionsauftrags-Agenten. In diesem Falle ist eine Neuplanung des Montageauftrags zu einem späteren Zeitpunkt bzw. eine Priorisierung eines anderen Montageauftrags erforderlich. Damit ist der zugehörige Produktionsauftrag unter den Betriebsmittel-Agenten erneut auszusprechen. Eine Schnittstelle zu einem menschlichen Planer ist konzeptionell vorgesehen, es ist daher im Einzelfall zu prüfen, ob nicht eine manuelle Störfallbehebung sinnvoll erscheint, wenn betroffene Materialien nicht erneut bereitgestellt werden können.

Können die erforderlichen Materialien jedoch bereitgestellt werden, so werden die zugehörigen Transportmittelbedarfe über den Materialbereitstellungs-Agenten ausgeschrieben.

Durch den Einsatz der Maintenance-Agenten und deren Interaktion mit dem Materialbereitstellungs-Agenten kann eine verbesserte Systemleistung erzielt werden.

4.2 BILDUNG LOKALER CLUSTER

Eine Verbesserung der Gesamteinsatzdauer verwendeter FTF sowie eine Reduzierung der Transportwege verspricht die Verwendung lokaler Cluster. Während entsprechend obigem Ausschreibungsverfahren durch den Materialbereitstellungs-Agenten ein Broadcasting erfolgt und somit alle Transportmittelplanungs-Agenten zur Abgabe eines Angebots aufgefordert werden, sollen hier nach ersten Auftragsvergaben lokale Cluster gebildet werden, um die Anzahl der Transportmittelplanungs-Agenten, die Angebote abgeben, sinnvoll zu reduzieren.

Die Clusterbildung kann auf Grundlage der räumlichen Nähe der FTF erfolgen, die hier vereinfachend anhand der Schwerpunkte der Touren der FTF ermittelt wird. Auf Basis einer zugrunde gelegten Topologie kann jeder Transportmittelplanungs-Agent für seine Tour einen Schwerpunkt berechnen. Die Clusterung kann beispielsweise durch den k -means-Algorithmus realisiert werden, wobei k die Anzahl erforderlicher Cluster darstellt. Hierbei handelt es sich ebenfalls um ein NP-schweres Problem. Häufig wird hier zur Lösung der Lloyd-Algorithmus verwendet.

Der Lloyd-Algorithmus ist mehrstufig und wird wiederholt durchlaufen. In einer ersten Stufe werden abhängig von der festgelegten Klassenanzahl zufällige Zentren für die Cluster festgelegt. In der nächsten Stufe wird jedes FTF anhand seines Schwerpunkts einer von k Mengen (k ist die Anzahl der Cluster) zugeordnet. Jede Menge umfasst die FTF, die dem zugehörigen Zentrum besonders nah sind. In der dritten Stufe werden die Zentren aktualisiert. Dazu wird innerhalb jeder der Mengen ein neues Zentrum bestimmt. Im Anschluss wird der Algorithmus ab der zweiten Stufe erneut durchlaufen. Die FTF werden also erneut den k Mengen zugeordnet. Bei der Zuordnung ist hierbei jedoch die Nähe zum jeweils neuen Zentrum von Relevanz. Eine näherungsweise Lösung ist für den hier verfolgten Zweck ausreichend. Nach einer geringen Anzahl von Iterationen kann der Algorithmus daher abgebrochen werden.

Innerhalb der so identifizierten lokalen Cluster befinden sich FTF, die räumlich nahe operieren. Bei einer Neuausschreibung eines Transportmittelbedarfs werden diejenigen Cluster durch den Materialbereitstellungs-Agenten adressiert, die die geringste Entfernung zwischen dem Bedarfsort und dem jeweiligen Clusterzentrum aufweisen.

Zusätzlich zu den Verbesserungen, die sich aus der lokalen Ausschreibung in den Clustern ergeben, existieren Verbesserungspotentiale, die aus der Möglichkeit bilateraler Interaktionen zwischen den Transportmittelplanungs-Agenten innerhalb eines Clusters resultieren. Dadurch können die einem Cluster zugehörigen FTF ihre jeweiligen Tourenpläne verbessern.

5 FAZIT

Das in diesem Beitrag skizzierte, multiagentenbasierte Transportsteuerungskonzept genügt den Anforderungen an die Materialbereitstellungsplanung im Kontext veränderungsfähiger Produktionssysteme. Der Einsatz modularer Transportsysteme (z. B. zelluläre FTF) sichert die grundsätzliche Veränderungsfähigkeit des Systems. Ferner wurde aufgrund des installierten Zielsystems eine Ausrichtung auf die Erfüllung verschiedener Ziele der Transportplanung sichergestellt. Der vorgestellte Ansatz berücksichtigt sowohl Unsicherheiten als auch die Dynamik des Systems und ist aufgrund des implementierten Steuerungskonzepts selbststeuernd ausgerichtet.

Innerhalb dieses Beitrags wurden Ansätze vorgestellt mit dem Ziel, die Performance des Transportsteuersystems zu verbessern. Während die Transportmittelplanungs-Agenten im eingangs präsentierten Steuerungskonzept nur eine begrenzte Wahrnehmung ihrer Umwelt aufweisen, wurde im modifizierten Ansatz die Kenntnis über ihre Umwelt erweitert. Die FTF sind als cyber-physische Systeme befähigt, ihren Systemzustand und einander wahrzunehmen sowie miteinander in Interaktion zu treten. Wie einleitend erwähnt, wurde dem agentenbasierten Planungsparadigma durch eine Verringerung des Broadcastings, eine verstärkte Peer-to-peer-Interaktion sowie verbesserte Wahrnehmung der Umwelt Rechnung getragen. Durch den Einsatz lokaler Cluster kann im Rahmen von Ausschreibungen sowie in bilateralen, clusterinternen Interaktionen die Systemperformance verbessert werden. Auch die Einführung von Agenten und zugehöriger Prozesse für ein Störfallmanagement tragen zur Steigerung der Systemperformance bei

LITERATUR

- [CP11] Caputo, Anotonio; Pelagagge, Pacifico: *A methodology for selecting assembly system feeding policy*, Industrial Management & Data Systems, Vol. 111, No. 1, pp. 84-112, 2011
- [Dil04] Dilger, Werner: *Multiagentensysteme*, Vorlesung an der Technischen Universität Chemnitz, 2004
- [VK14] Vojdani, Nina; Knop, Mathias: *Adaptive Materialbereitstellung in flexiblen Produktionssystemen auf Grundlage einer agentenbasierten Transportsteuerung*, in Günthner, Willibald A.: *Tagungsband, 10. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik*, Garching bei München, 8.-9. Oktober 2014, S. 97-106, 2014
- [VK15] Vojdani, Nina; Knop, Mathias: *Agent-based Approach for Adaptive Line feeding*, in Kartnig, Georg; Zrnić, Nenad; Bošnjak, Srđan: *MHCL '15, XXI International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics"*, 23rd - 25th September 2015, Vienna, 2015
- [VK18] Vojdani, Nina; Knop, Mathias: *Adaptive Materialbereitstellung – ein neuartiges Konzept für die Materialbereitstellungsplanung in veränderungsfähigen Produktionssystemen*, Logistics Journal: Proceedings, Vol. 2018
- [WENZWDB07] Wiendahl, Hans-Peter; ElMaraghy, Hoda A.; Nyhuis, Peter; Zäh, Michael F.; Wiendahl, Hans-Hermann; Duffie, Neil; Brieke, Michael: *Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 56, No. 2, pp. 783-809, 2007
- [Win06] Windt, Katja: *Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik*, In: Vec, Miloš, Hütt, Marc-Thorsten, Freund, Alexandra: *Selbstorganisation – Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft*, Böhlau Verlag, Köln, 2006

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani, Head of the Chair of Production Organisation and Logistics, University of Rostock.

Dipl.-Wirt.-Ing. Mathias Knop, PhD candidate at the Chair of Production Organisation and Logistics, University of Rostock.

Address: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Germany.

Phone: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de