

# Nutzung von Produktionsechtzeitdaten – Eine agentenbasierte Feinplanung mittels Simulation

Using production real time data - An agent-based detailed planning by means of simulation

*Nina Vojdani  
Björn Erichsen  
Thomas Lück*

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

**D**er Wunsch nach Individualität spiegelt sich zunehmend im Kaufverhalten der Kunden wider. Viele Unternehmen haben bereits das Marktpotential der individualisierten Produkte und Dienstleistungen erkannt und fordern neue und flexible Fertigungssteuerungskonzepte. Um in einem kundenindividuellen Wettbewerbsumfeld, wie der Auftragsfertigung, wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Unternehmen den komplexen Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung gerecht werden.

Um dieser hohen Komplexität zu begegnen, können Multiagentensysteme zur dezentralen Steuerung der Produktion eingesetzt werden. Aufgrund von stochastischen Einflüssen divergieren jedoch oft die Plan- und Ist-Liefertermine. Da die Einhaltung des Liefertermins maßgeblich für die Erreichung einer hohen Termintreue und damit der Kundenzufriedenheit in einer kundenauftragsorientierten Produktion ist, stellt dessen genaue Planung eine entscheidende Aufgabe dar. Durch Nutzung von Produktionsechtzeitdaten kann eine Verbesserung der Bestimmung von Lieferterminen und somit der Termintreue erzielt werden.

*[Schlüsselwörter: Multiagentensysteme, Feinplanung, Liefertermin, Produktionsechtzeitdaten, MES]*

**M**atching the trend for individuality is increasingly reflected in the customers' buying behavior. Many companies have already recognized the market potential of customized products and services to meet requirements of individual customers, calling for new and flexible manufacturing control concepts. Being competitive in a customized context, such as the make-to-order production, means having the ability to deal with increasing complexity of production planning and control.

To meet this high complexity, multi-agent systems and decentralized problem solving seem to be appropriate. Due

to several stochastic influences, planned and actual delivery dates often differ. Since adherence to the delivery date is a main target in a customer-oriented production, precise short-term planning is crucial. Therefore, using production-real-time data results in a decided improvement of delivery dates.

*[Keywords: multi-agent systems, decentralized problem solving, short-term planning, delivery date, MES]*

## 1 EINLEITUNG

Durch die weiter voranschreitende Globalisierung, den zunehmenden Wettbewerbsdruck sowie gestiegene Kundenansprüche sind Unternehmen einem Umfeld wachsender Marktdynamik und -volatilität ausgesetzt [Küh06]. Gestiegene Kundenansprüche hinsichtlich Individualisierung und Produktkomplexität zwingen die Akteure zur Fokussierung auf ihre Kernkompetenzen und fördern die Bildung von Kooperationen und komplexen Wertschöpfungsnetzwerken [Elm02]. Die im Produktionsunternehmen eingesetzten traditionellen PPS-Systeme bilden die Komplexität und Volatilität der Planungsumgebungen oft nur unzureichend ab [SPH13]. Als wesentliche Ursache für Fehlplanungen wird die mangelnde Rückkopplung der aktuellen Produktionssituation an das zentralorganisierte PPS-System gesehen. Entweder liegen die für die Planung und Steuerung notwendigen Daten nicht in ausreichender Granularität und Qualität vor [SPTB13] oder die Integration wird erschwert, weil die Aufbereitung und Analyse der Daten zum gewünschten Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen ist [SLS+11]. Eine Bestimmung von Lieferterminen kann deshalb häufig nur auf Basis von Erfahrungswerten der Standard-Durchlaufzeiten oder durch grobe regelbasierte Schätzungen der Fertigwarenverfügbarkeit erfolgen. Dies führt allerdings oft zu erheblichen Abweichungen von Plan- und Ist-Daten und somit zur Nichteinhaltung von Zielgrößen wie der Termintreue. Eine möglichst genaue Planung von Lieferterminen im Umfeld

immer individuellerer Kundenwünsche und komplexer Wertschöpfungsnetzwerke stellt die produzierenden Unternehmen damit vor große Herausforderungen. In diesem Zusammenhang bieten die Manufacturing Execution Systeme (MES) und dezentrale Steuerungsstrategien eine Unterstützung für PPS-Systeme, um dem steigenden Planungs- und Koordinierungsaufwand der innerbetrieblichen und unternehmensübergreifenden logistischen und produktionsbezogenen Abläufe zu begegnen [DPR04]. Eine mögliche Umsetzung der dezentralen Steuerungsstrategien in der Produktion stellen Multi-Agenten-Systeme (MAS) dar.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik der Universität Rostock (LPL) wurde das Szenario einer agentenbasierten Feinplanung in einer Montage von individualisierten Produkten mit deren kapazitiven und zeitlichen Zusammenhängen sowie stochastischen Störgrößen mittels ereignisdiskreter Simulation nachgebildet. Anhand von Echtzeitdaten über die aktuelle Produktionssituation kann eine zuverlässige Feinplanung durchgeführt werden.

## 2 AGENTEN IN PRODUKTION UND LOGISTIK

Eine Möglichkeit den vorausgehend genannten Herausforderungen gerecht zu werden, ist die Implementierung sowie Anwendung von Konzepten des verteilten Problemlösens. Konventionelle Konzepte, welche zur Problemlösung eingesetzt werden, sind meist monolithischer Natur. Dazu zählen beispielsweise hierarchisch-zentrale Konzepte, bei denen auf jeder Hierarchiestufe ein Problem als Ganzes gelöst wird. Beim verteilten Problemlösen erfolgt die Dekomposition eines meist komplexen Gesamtproblems in mehrere Teilprobleme. Diese werden dann unabhängig voneinander gelöst. Die anschließende Synthese der Teillösungen führt zu einer Gesamtlösung des Ausgangsproblems. [Zel95, S.129] MAS eignen sich im besonderen Maße, um das Konzept der verteilten Problemlösung umzusetzen. Die einzelnen Agenten fungieren als Entitäten mit individueller Problemlösungskompetenz, welche parallel und voneinander unabhängig Teillösungen generieren. Eingebettet in ein Kommunikationsnetzwerk, sind die Agenten in der Lage, untereinander Informationen auszutauschen. So können beispielsweise Aufgaben zur Lösung eines Teilproblems weitergegeben und die Ergebnisse empfangen werden, wodurch ein arbeitsteiliges Zusammenwirken entsteht. [Zel95]

Die Einsatzgebiete von Agenten in der PPS sind aufgrund der großen Anzahl von komplexen, unternehmensübergreifenden und innerbetrieblichen Prozessen vielfältig. Innerhalb dieser Anwendungsdomäne werden die mit einander agierenden Elemente des Produktionssystems (z. B. Aufträge, Maschinen, Fördermittel) durch Agenten repräsentiert, die zielgerichtet und autonom Entscheidungen treffen. Der jeweilige Auftrag soll sich seinen Weg selbstständig durch das Produktionssystem suchen und die dafür notwendigen Ressourcen (Maschinen und Transportmittel)

gezielt via direkter Kommunikation allokalieren. Unter Berücksichtigung von Start- und Fertigstellungsterminen, Bearbeitungsqualitäten sowie unter Einbeziehung von aktuellen Zustandsinformationen über die Arbeits- und Transportsysteme, soll der Auftrag dazu befähigt werden, seine Arbeitsvorgänge selbst zu terminieren und bei Bedarf die Bearbeitungsreihenfolgen selbst abzuändern. Darüber hinaus haben sowohl die Aufträge als auch Arbeitssysteme die Option zur Annahme oder Ablehnung der Bearbeitung. Diesbezüglich kann die Entscheidung unter Abwägung von maximaler Auslastung oder minimalen Rüstkosten (auf Seiten der Bearbeitungsstation) erfolgen. Der Auftrag kann die Bearbeitung ablehnen, wenn damit Zielstellungen wie z. B. minimale Durchlaufzeit oder Einhaltung des vereinbarten Fertigstellungstermins, gefährdet sind [SRH06].

Frackenpohl entwickelt in seiner Arbeit ein agentenbasiertes Auftragsmanagement, um die Komplexität der Multiressourcen-Montage zu beherrschen. Ziel ist die Entwicklung eines robusten und flexiblen Verfahrens, welches das Planungsrisiko einer zentralen Termin- und Kapazitätsplanung „auf viele Schultern“ zu verteilen, anstrebt. Mit Hilfe von Produktionsagenten erfolgt die konkrete Zuordnung von Aufträgen zu Maschinen erst unmittelbar vor der Einlastung und auf Basis einfacher Entscheidungsregeln. Der Lösungsraum möglicher Belegungspläne wird damit bezüglich möglicher Lösungsalternativen und der zu beachtenden Restriktionen für eine konkrete Maschine erheblich verkleinert. Die Ergebnisse der dazugehörigen Simulationsstudie unterstreichen die Anwendbarkeit und Vorteile des agentenbasierten Auftragsmanagements [Fra02].

Lima et al. [LSM06] entwickeln ein agentenbasiertes Produktionsplanungs- und -steuerungssystem, das sich dynamisch an Veränderungen im Produktionssystem anpasst. Das entwickelte MAS basiert auf der Auswahl von Ressourcen und Erstellung eines spezifischen Belegungsplans für die Einzelauftragsfertigung von Kleinserien eines Produktes. Das Multiagentensystem operiert auf Grundlage eines Kontraktnetzes und ist in JAVA implementiert.

He et al. [HZL13] präsentieren einen hierarchischen agentenbasierten Ausschreibungsmechanismus, welcher speziell auf die Auftragsfertigung (Make-to-Order) ausgerichtet ist. Dieser agiert innerhalb festgelegter Rahmenbedingungen und sorgt dafür, dass die Ressourcen selbst-organisiert und kosteneffizient zur Erfüllung der Kundenaufträge eingesetzt werden. Die prototypische Implementierung fand bei einem mexikanischen Fertigungsunternehmen statt.

Anosicke und Zhang [AZ07] beschreiben in ihrem Beitrag eine agentenbasierte, integrierte Entscheidungsplattform, welche gleichzeitig Produktionsplanungs- und -steuerungsaufgaben sowie Entscheidungen über Rekonfiguration und Restrukturierung der Produktion betrachtet.

Das System zielt darauf ab, für individuelle Kundenaufträge eine kosteneffiziente Planung und Steuerung der Produktionsabläufe zu ermöglichen. Sollten jedoch die verfügbaren Produktionsressourcen nicht mehr in der Lage sein, der Nachfrage nachzukommen, dann identifiziert das System Handlungsmöglichkeiten für Rekonfigurations- und Restrukturierungsmaßnahmen.

Caridi und Cavalieri [CC04] untersuchen über 100 Beiträge über MAS und nehmen eine Klassifikation nach dem Anwendungsbereich im Kontext der PPS, der Rolle der Agenten, den Koordinationsmechanismen, der Organisationsform und der Art der Kommunikation vor. Die Autoren beschreiben die Stärken von MAS und gehen auf einige kritische Aspekte ein. Festzustellen bleibt, dass die meisten realisierten MAS das Ergebnis von Forschungsarbeiten und Prototypen sind. Eine breite Anwendung in der industriellen Praxis steht weiterhin aus. Lediglich zehn Prozent der untersuchten MAS werden als operative Systeme eingesetzt oder sind als kommerzielle Produkte verfügbar [CC04].

### 3 BESTIMMUNG VON LIEFERTERMINEN

Unternehmen, die im Bereich der Auftragsfertigung (Make-to-Order) tätig sind, sehen sich im besonderen Maße mit Problemen bei der Lieferterminbestimmung konfrontiert. Auf der einen Seite müssen wettbewerbsfähige und damit relativ kurze Lieferzeiten angeboten werden. Auf der anderen Seite gilt es, die vereinbarten Liefertermine möglichst einzuhalten, um dadurch eine hohe Termintreue sowie Kundenzufriedenheit zu erzielen. [KH03] Erschwert wird dies durch komplexe Produktionsprozesse sowie Unsicherheiten bezüglich der Nachfrage kundenindividueller Produkte. Die Herausforderung besteht darin, Liefertermine zu bestimmen, die mit gegebenen Produktionsressourcen und unter der festgelegten Produktionsreihenfolge bzw. Belegungsplanung realisiert werden können (s. auch Abbildung 1). [KH03]

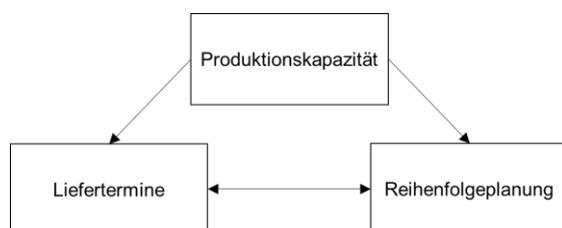


Abbildung 1. Lieferterminbestimmung vs. Reihenfolgeplanung [KH03]

Diese Abhängigkeiten machen die Lieferterminbestimmung in der kundenindividuellen Auftragsfertigung zu einem komplexen Planungsproblem.

Grundsätzlich können Liefertermine nach zwei Typen klassifiziert werden [LCML11]:

- Fester Liefertermin: Hierbei gibt der Kunde einen festen Termin bzw. eine Lieferzeit vor.
- Verhandelbarer Liefertermin: Eine Verhandlung zwischen dem Lieferanten und dem Kunden findet statt.

Des Weiteren unterscheidet sich das Vorgehen bei der Lieferterminbestimmung. Zorzini et al. [ZCP08] untersuchen 15 italienische Industriemaschinen-Unternehmen mit Auftragsfertigung und ordnen deren Vorgehensweise zur Lieferterminbestimmung unter Berücksichtigung der existierenden Literatur in drei Kategorien ein:

- Keine Analyse der Kapazitätsbelastung: Die Bestimmung eines Liefertermins erfolgt auf Basis einer durchschnittlichen Lieferdauer für das angefragte Produkt
- Aggregierte Analyse der Kapazitätsbelastung: Bei dieser Vorgehensweise werden aggregierte Informationen über das Produktionsgeschehen herangezogen
- Detaillierte Analyse der Kapazitätsbelastung: Alle Informationen aus der PPS sowie über das aktuelle Produktionsgeschehen werden für eine Lieferterminbestimmung verwendet.

Die in diesem Beitrag beschriebene Methode zur Lieferterminbestimmung berücksichtigt die detaillierte Analyse der Kapazitätsbelastung.

### 4 CYBER-PHYSISCHE SYSTEME

Für die Realisierung der Feinplanung sind möglichst genaue Daten über das aktuelle Produktionsgeschehen notwendig. Dies betrifft unter anderem Daten zum aktuellen Bearbeitungsstatus der eingelasteten Aufträge, zum Status der Transportmittel sowie Informationen über auftretende Störungen. Die Erhebung, Verarbeitung und Bereitstellung solcher Informationsmengen, insbesondere in komplexen Produktionsumgebungen, lassen sich nur mit geeigneten Informationssystemen realisieren. Der Einsatz Cyber-physischer Systeme (CPS) eignet sich im besonderen Maße dazu, die geforderten logistischen sowie produktionsbezogenen Daten in Echtzeit bereitzustellen [SPH13].

Physische Objekte, wie beispielsweise Maschinen oder Transportmittel, ausgestattet mit integrierten Rechnern und Sensoren sowie die Verbindung mit digitalen Netzen stellen CPS im Sinne der vierten industriellen Revolution dar. Sie zeichnen sich durch die Fähigkeit zur Identifikation, Speicherung, intelligenter Datenverarbeitung und Interaktion aus [SPH13].

Der Einsatz von CPS in der industriellen Praxis befindet sich jedoch gerade erst am Anfang und ist noch lange kein Standard. Zur Nutzung der Potentiale von CPS im Bereich der Produktion wird von Reinhardt et al. [REG+13]

u.a. die Notwendigkeit der Entwicklung eines repräsentativen Spektrums Cyber-Physischer Systemmodule gefordert und der damit verbundene Handlungsbedarf in vier Felder eingeteilt.

In diesem Beitrag dienen die mittels CPS ermittelten Produktionsechtzeitdaten über aktuelle Produktionssituation als Input für das agentenbasierten Simulationssystem zur Feinplanung.

## 5 SYSTEM ZUR BESTIMMUNG VON LIEFERTERMINEN

### 5.1 ZIELSTELLUNG UND SYSTEMANFORDERUNGEN

Das vorgestellte Konzept fokussiert die Anwendung im Umfeld der auftragsorientierten Einzel- und Variantenfertigung (Make-to-Order). Es wird von Erzeugnissen mit komplexer Produktstruktur und stark streuenden Durchlaufzeiten ausgegangen. Die Anwendung soll dabei als Assistenzsystem für die Feinplanung dienen und auf Basis eines agentenbasierten Simulationssystems einen verbindlichen Liefertermin für eine Kundenanfrage ermitteln können. Darüber hinaus sollen die aus der Simulation gewonnenen Ergebnisse und Daten, wie beispielsweise die Start- und Endtermine der einzelnen Arbeitsoperationen, in die cyberphysische Systemlandschaft überführt und für die operative Steuerung genutzt werden. Mit Hilfe von Echtzeitdaten aus der Produktion können eventuelle Abweichungen von den Planterminen frühzeitig erkannt und somit entsprechende Gegenmaßnahmen zur Einhaltung der Liefertermine eingeleitet werden. Für einen effizienten Einsatz des Simulationswerkzeuges sind Schnittstellen zu angeschlossenen MES, BDE-, ERP- und, oder PPS-Systemen elementar.

Das Simulationsmodell wird durch die Ankunft einer Kundenanfrage getriggert und mit einem Snapshot der logistischen und produktionsbezogenen Echtzeitdaten des Produktionsbetriebes initialisiert. Der ermittelte Liefertermin als Ergebnis der Simulationsläufe muss zunächst vom Planer geprüft und anschließend an den Kunden kommuniziert werden. Akzeptiert der Kunde das Angebot, wird die Datenbasis des realen Produktionssystems aktualisiert. Abbildung 2 zeigt das Input-Output-Modell des Simulationssystems.

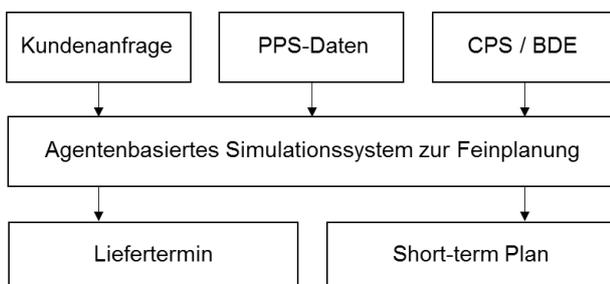


Abbildung 2. Das Input-Output-Modell

### 5.2 AKTEURE DES MAS

Für die Bestimmung der Liefertermine ist das Problem der Feinplanung zu lösen bzw. die Zuordnung der Teilaufträge eines Kundenauftrages zu den einzelnen Ressourcen des Produktionssystems. Entsprechend dieser Anforderungen wurden sechs unterschiedliche Agententypen abgeleitet: Produktagent, Koordinationsagent, Auftragsagent, Pufferagent, Montage- und Maschinenagent.

Mit dem Auftragsagenten (AA) werden Agenten referenziert, die Kundenaufträge repräsentieren. Jeder Kundenauftrag wird durch seinen eigenen AA vertreten. Dieser muss dafür sorgen, dass der jeweilige Auftrag so schnell wie möglich an den Kunden ausgeliefert werden kann.

Jede Ressource im Unternehmen wird durch einen entsprechenden Ressourcenagenten (RA) präsentiert. Je nach Ressourcentyp werden die Agenten in Montage- und Maschinenagenten unterschieden. Auf RA für eine Arbeitskraft oder eine Transportvorrichtung wurde hier verzichtet. Der RA verfügt über alle notwendigen Information der zugeordneten Ressource. Dazu zählen unter anderem der Arbeitsplan mit den entsprechenden Rüst- und Bearbeitungszeiten der einzelnen Arbeitsvorgänge. Jeder RA besteht aus den zwei Komponenten: Produktion und Scheduler. Die Erstere ist verantwortlich dafür, dass eingeplante Aufträge sukzessive aus dem lokalen Belegungsplan entnommen, die Maschinen entsprechend umgerüstet werden und die Durchführung der Arbeitsoperationen gemäß den Vorgabezeiten realisiert wird. Für die lokale Feinplanung einer Ressource und die Erstellung von Angeboten ist der Scheduler verantwortlich.

Jede Ressource verfügt über einen Eingangspuffer, in dem bereits fertiggestellte Baugruppen für die weitere Bearbeitung zwischengelagert werden. Ein Pufferagent (PUA) verwaltet den Inhalt und informiert den RA, wenn alle Komponenten für die Durchführung des nächsten Arbeitsschrittes verfügbar sind.

Der Produktagent (PA) ist eine Art Datenbankagent und kapselt das Wissen über das Produkt und den Fertigungsprozess, welches in Form von Arbeitsplänen, Stücklisten und Verbrauchsmaterialien vorliegt. Diese Informationen sind vor allem für die AA bedeutsam und werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus kann der PA auf der Basis neuen Wissens Datensätze anlegen, vorhandene ändern oder löschen.

Der Koordinationsagent (KA) übernimmt die Rolle einer Marktplattform. Über diese werden eingehende Aufträge an die RA übermittelt, die wiederum Angebote an den KA übersenden. Die RA müssen sich als Interessenten für die Durchführung nachgefragter Arbeitsoperationen anmelden.

### 5.3 ABLAUF DER AGENTENSIMULATION

Der Verhandlungsmechanismus zwischen den Agenten zur Einplanung neuer Aufträge und Anfragen basiert im Wesentlichen auf dem Kontraktnetzansatz [Smi80]. Die

genaue Zuordnung der Aufträge zu den Ressourcen erfolgt innerhalb des Modells in zwei Phasen.

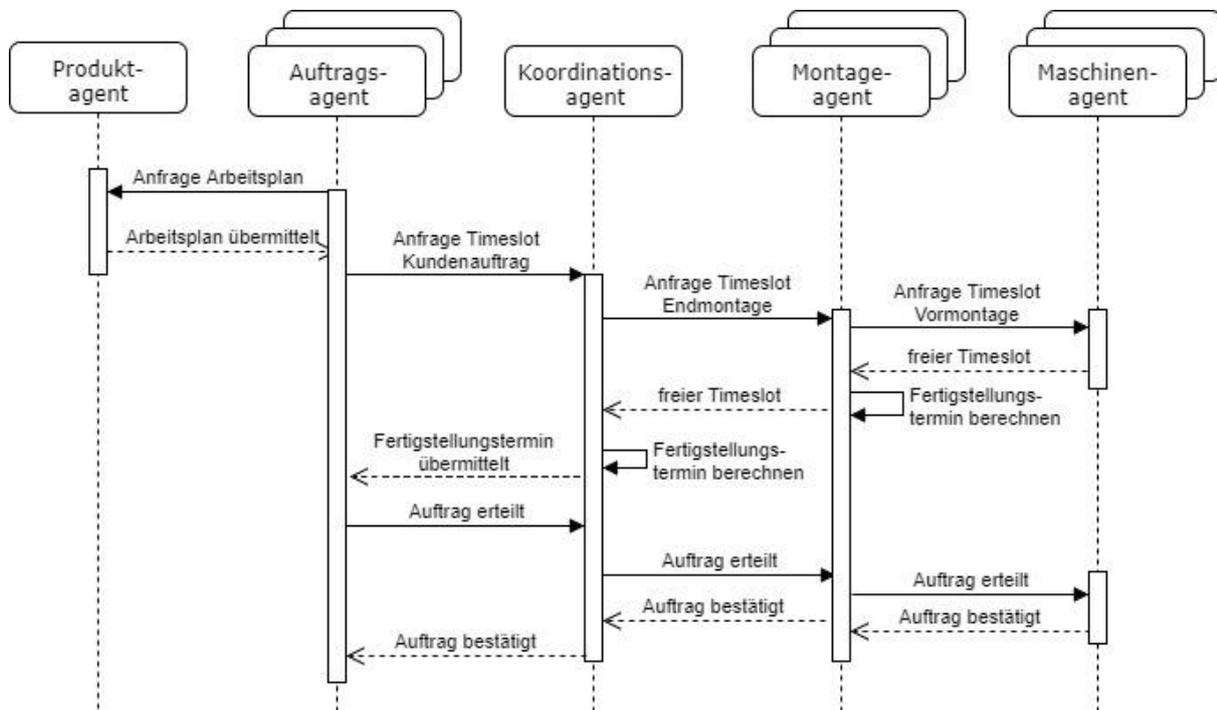


Abbildung 3. Das Sequenzdiagramm

In Phase 1 wird jeder eintreffenden Kundenanfrage ein entsprechender AA zugeordnet. Anschließend wird durch diesen ein Auftragsnetz erzeugt und die entsprechenden Mengenvorgaben und Zeitanteile für die Teilaufträge werden berechnet. Die dafür notwendigen Informationen werden beim PA angefragt. Sind die notwendigen Arbeitsoperationen hinreichend spezifiziert, werden diese über den Koordinationsagenten für die RA ausgeschrieben. Im Sinne einer Rückwärtsterminierung wird dabei mit dem Teilauftrag der Endmontage begonnen. Die angefragten RA entscheiden, ob sie in der Lage sind, diese Aufgabe zu lösen. Dies ist innerhalb eines bestimmten Zeitfensters nur möglich, wenn auch die notwendigen Baugruppen und Einzelteile zum Plan-Starttermin in der geforderten Anzahl zur Verfügung stehen. Die Vergabe der notwendigen vorgelagerten Arbeitsschritte liegt dabei in der Verantwortung des jeweiligen RA selbst. Geht beispielsweise die Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes zur Durchführung der Endmontage bei einem RA ein, so bestimmt dieser gemäß des eigenen Belastungsprofils das Zeitfenster für die Teilaufträge. Jeder aufgerufene RA erstellt entweder ein Angebot oder lehnt diese Anfrage ab. Nach einem definierten Auswahlverfahren erstellt der aufrufende RA basierend auf

den eingehenden Angeboten ein eigenes Angebot und leitet dieses an den KA weiter, Abbildung 3. Sobald der RA den Zuschlag oder die Ablehnung für einen Auftrag vom KA erhält, informiert er die in die Angebotserstellung einbezogenen Agenten. Jeder Teilauftrag wird nach Abschluss der Verhandlungen in genau einem lokalen Belegungsplan eines RA geführt.

In Phase 2 modifizieren die Agenten unter Berücksichtigung von Start- und Fertigstellungsterminen, sowie unter Einbeziehung von aktuellen Zustandsinformationen der Arbeits- und Transportsysteme im Bedarfsfall die bestehenden lokalen Belegungspläne. Eine entsprechende Reaktion ist immer dann nötig, wenn sich die Bearbeitungszeiten eines Montageauftrages aufgrund eines ungeplanten Ausfalls einer Maschine oder Anlage bzw. eines Mitarbeiters oder eines Transportmittels verschieben. Stellt ein RA eine Abweichung in seinem Plan fest, so informiert er den KA, der wiederum den betroffenen AA informiert. Daraufhin wird der Bearbeitungszeitraum zwischen dem KA und den RA neu verhandelt. Eine Verschiebung des Arbeitsvorgangs muss von allen anderen betroffenen Agenten akzeptiert werden. Dadurch ist es jedoch sehr wahrscheinlich, dass diese Änderungen ebenfalls zu Abweichungen in den

Plänen der beteiligten Agenten führen, weshalb diese ihre Aufträge ebenfalls neu verhandeln und einplanen müssen. Änderungen in den lokalen Belegungsplänen werden bei diesem Vorgehen zeitlich nach hinten verschoben, was sich unter Umständen bis zum letzten Teilauftrag auswirken kann.

#### 5.4 IMPLEMENTIERUNG

Für die prototypische Umsetzung des MAS wurde die ereignisdiskrete Simulationssoftware Plant Simulation verwendet. Die eingangsseitige Systemgrenze wird durch ein Produktionslager repräsentiert, welches alle notwendigen Einzelteile in ausreichender Menge, aber keine Baugruppen und Zwischenprodukte, enthält. Ausgangseitig wird das System durch ein Warenausgangslager in Form einer Quelle abgegrenzt. Die mehrstufige Werkstattmontage besteht aus fünf unterschiedlichen Arbeitssystemen, wobei drei ausschließlich Arbeitsaufgaben der Vormontage und die beiden anderen der Endmontage ausführen können. Für das Simulationsmodell werden die Kommunikationspartner wie z. B. MES, BDE-, und ERP-Systeme nachgebildet und die notwendigen Daten wie die initialen Belegungspläne bereits eingeplanter Kundenaufträge und unterschiedliche Produktkonfigurationen für jeden Simulationslauf neu erzeugt.

In einem initialen Simulationsdurchlauf werden die benötigten Eingangsdaten wie die Belegungspläne bereits eingeplanter Kundenaufträge und unterschiedlichste Produktkonfigurationen durch Zufallszahlen generiert. Für die beweglichen Elemente (Einzelteile und Baugruppen) des Materialflusssystemes werden in einer Liste alle durchlaufenden Bausteine, der Zeitpunkt des Ein- und Ausgangs sowie die entsprechenden Zeitanteile in einer Trace-Datei dokumentiert. Mit Hilfe der gespeicherten Daten können so die auftragsbezogenen Durchlauf- und Verweilzeiten der einzelnen Arbeitsvorgänge auf den jeweiligen Maschinen und Pufferplätzen nachvollzogen und die Ursachen für mögliche Lieferterminabweichungen detailliert analysiert werden. Mit jeder eintreffenden Anfrage wird eine Kopie der aktuellen Trace-Datei mit einem Zeitstempel gespeichert. Diese Datei bildet die aktuelle Produktionssituation zu einem bestimmten Zeitpunkt ab und wird für die Initialisierung neuer Simulationsdurchläufe genutzt. Auf diese Weise werden die durch eine CPS/ BDE-System zu erfassenden Produktionsechtzeitdaten modelliert, die eine wesentliche Eingangsgröße des Simulationsmodells darstellen.

#### 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Termintreue stellt eine zentrale Zielgröße zur Erfüllung kundenindividueller Anforderungen im Unternehmen mit einer kundenauftragsorientierten Fertigung (Make-to-Order) dar. Der Bestimmung von verlässlichen Lieferterminen innerhalb der Feinplanung kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund unzureichender Berücksichtigung der aktuellen Produktionssituation sind die

von PPS-Systemen erstellten Plandaten oft veraltet, wenn diese der Produktion zur Verfügung gestellt werden. In diesem Zusammenhang bieten Manufacturing Execution Systems (MES) Unterstützung, um die Aufgabe der Lieferterminbestimmung in der betrieblichen Praxis zufriedenstellend zu lösen und die Zuverlässigkeit vereinbarter Liefertermine zu verbessern. In diesem Beitrag kommt ein agentenbasierter Ansatz zur Feinplanung bzw. Bestimmung der Liefertermine zur Anwendung, der mittels Simulation nachgebildet wird und die Produktionsechtzeitdaten zu einer Verbesserung der Feinplanung nutzt.

Als nächste Schritte sind weitere Untersuchungen mit realen Daten von Unternehmen sowie Erweiterungen der Fähigkeiten der einzelnen Agenten geplant.

#### LITERATUR

- [AZ09] Anosike, A. I., and Zhang, D. Z.: *An agent-based approach for integrating manufacturing operations*. International Journal of Production Economics 121.2 (2009): 333-352.
- [CC04] Caridi, M., and Cavalieri, S.: *Multi-agent systems in production planning and control: an overview*. Production Planning & Control 15.2 (2004): 106-118.
- [DPR04] Dangelmaier, W., Pape, U., und Rüther, M.: *Agentensysteme für das Supply Chain Management: Grundlagen-Konzepte-Anwendungen*. Springer-Verlag, 2004.
- [Elm02] Elmuti, D.: *The perceived impact of supply chain management on organizational effectiveness*. Journal of Supply Chain Management 38.2 (2002): 49-57.
- [Fra02] Frackenpohl, D.: *Agentenbasiertes Auftragsmanagement für die Multiressourcen-Montage*. 2002.
- [HZL14] He, N., Zhang, D. Z., and Li, Q.: *Agent-based hierarchical production planning and scheduling in make-to-order manufacturing system*. International Journal of Production Economics 149 (2014): 117-130.
- [KH03] Kaminsky, P., and Hochbaum, D. S.: *Due Date Quotation Models and Algorithms*. (2004).
- [Küh06] Kühn, W.: *Digitale Fabrik*. München: Hanser Verlag, 2006

- [LCML11] Liu, J. J., Chen, Q. X.; Mao, N., Lin, Z. A.: *A multi-agent-based mould due date setting approach in stochastic production*. International Journal of Production Research 49.5 (2011): 1353-1371.
- [LSM06] Lima, R. M., Sousa, R. M., and Martins, P. J.: *Distributed production planning and control agent-based system*. International Journal of Production Research 44.18-19 (2006): 3693-3709.
- [REG+13] Reinhart, G., et al. *Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik*. wt-online, Jg 103.2 (2013): 84-89.
- [Smi80] Smith, R. G.: *The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver*. IEEE Transactions on computers 12 (1980): 1104-1113.
- [SLS+11] Schuh, G., Lödding, H., Stich, V., Reuter, C., Schmidt, O., Potente, T. et al.: *High Resolution Production Management*. In: Brecher, C., Klocke, F., Schmitt, R., Schuh, G. (Hrsg.): *Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik: Aachener Perspektiven. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2011*. Herzogenrath: Shaker 2011, S. 61-80.
- [SPH13] Schuh, G., Potente, T., und Hauptvogel, A.: *Cyber-physische Feinplanung. Hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme*. wt-online, Jg 103.4 (2013): 336-339.
- [SPTB13] Schuh, G.: Potente, T.: Thomas, C.: Brambring, F.: *Approach for reducing data inconsistencies in production control*. In: Zäh, M. (Hrsg.): *Proceedings of the Fifth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV)*, München 2013, S. 347-351.
- [SRH06] Scholz-Reiter, B., and Höhns, H.: *Selbststeuerung logistischer Prozesse mit Agentensystemen*. Produktionsplanung und-steuerung. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 745-780.
- [Zel95] Zelewski, S.: *Multi-Agenten-Systeme zur Koordinierung von Produktionsprozessen*. Rechnungswesen und EDV. Physica, Heidelberg, 1995. 123-150.
- [ZCP08] Zorzini, M., Corti, D.; and Pozzetti, A.: *Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis*. International Journal of Production Economics 112.2 (2008): 919-933.
- 
- Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani** ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.
- Björn Erichsen, M.Sc.** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.
- Thomas Lück, B.Sc.** ist studentischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.
- Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de

