

Projektvorhaben: Swarm Intelligence als Strategie zur Lösung reaktiver Planungsprobleme in Wertschöpfungsketten

Menno Heeren

Fachbereich Informatik, Carl v. Ossietzky Universität, Escherweg 2,
26121 Oldenburg, Germany
`menno.heeren@informatik.uni-oldenburg.de`

Zusammenfassung Aufgrund der zunehmenden Dynamik und erforderlichen Flexibilität in Wertschöpfungsketten werden Verfahren benötigt, die sich auf die Behandlung von Ausnahmeereignissen konzentrieren. Die damit verbundene Forderung, Transaktionen, die einen großen Teil des Zeit- und Kostenaufwandes darstellen, schneller, effizienter und flexibler zu bewältigen, benötigt neue Strategien. Die folgende Darstellung des Projektvorhabens skizziert einen auf Swarm Intelligence basierenden Ansatz, der den Anforderungen der reaktiven Planung in Wertschöpfungsketten gerecht werden soll.

1 Einleitung

Der Aufbau von standortübergreifenden Wertschöpfungsnetzen wird nach heutigem Kenntnisstand in den kommenden Jahren die zentrale Herausforderung für Unternehmen werden, um nachhaltig die Steigerung und Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Zu den möglichen Erfolgsfaktoren zählen im wesentlichen Lagerbestandssenkungen, Durchlaufzeitreduktionen, Transportkostenreduktionen, verkürzte Lieferzeiten, ein erhöhter Anteil rechtzeitiger Lieferungen, Umsatz- und Gewinnsteigerungen, um hier nur die wesentlichen Faktoren zu nennen. Weitere an standortübergreifenden Wertschöpfungsketten gebundene Nutzererwartungen und Voraussetzungen sind in [15] und [10] dargestellt. Damit die mit den Erfolgsfaktoren verbundenen Zielsetzungen im Unternehmen erreicht werden können, wird die dringlichste Aufgabe darin bestehen, Planungsprozesse unternehmensintern sowie werksübergreifend zu integrieren und zu optimieren. Die Koordination dieser Prozesse erstreckt sich über den innerbetrieblichen Bereich eines Unternehmens hinaus auch auf die Bereiche von externen Geschäftspartnern wie Lieferanten und Kunden.

Eine der dabei auftretenden Herausforderungen ist das Management der Wertschöpfungskette auf der Basis eines integrierten Informationssystems, welches die hohen Anforderungen an Informationsaktualität, -steuerung und -trans-

parenz erfüllen muß. Unvorhersehbar auftretende Ereignisse in dem unternehmensübergreifenden Planungsprozeß erschweren die Planungs- und Reaktionsfähigkeit eines solchen Informationssystems. Die Planung, Steuerung und Kontrolle des Informationsflusses im Planungsumfeld einer Wertschöpfungskette stellen ein hochdynamisches System dar, das von fortwährend auftretenden Ereignissen beeinflusst wird. Daraus läßt sich ableiten, daß Plankorrekturen einem kontinuierlichen Prozeß unterliegen und somit nicht die Ausnahme sondern die Regel darstellen.

Dabei kann in diesem Zusammenhang ein Ereignis als Meldung einer Abweichung oder als Änderung von Planungsvorgaben in der Ablaufplanung innerhalb der Wertschöpfungskette angesehen werden. Nach [14] wird ein solches Ereignis definiert als externe (z.B. Auftragsstornierung) oder interne (z.B. Maschinenausfall) Störung in der Planungsumgebung, die zur Inkonsistenz eines Planes führt. Die differenzierte Betrachtung von externen und internen Störungen spielt bei der hierarchischen Betrachtung der Wertschöpfungskette wie beim Multi-Site Scheduling eine bedeutende Rolle. Desweiteren können Ereignisse sowohl negativ als auch positiv auf den Ausgangsplan wirken, so daß unter Umständen aufwendige Neuplanungen notwendig werden, falls bestimmte Randbedingungen (sog. Constraints) verletzt werden.

In geeigneter Art und Weise auf diese Störungen zu reagieren, ohne dabei eine unnötige Anzahl von Folgeereignissen auszulösen, die wiederum Störungen im Ausgangsplan verursachen können, stellt große Anforderungen an die zu Grunde liegende Planungsstrategie. Dies weist auf die Notwendigkeit von geeigneten Organisations- und Kommunikationsstrukturen hin, mit denen ein solch komplexes dynamisches Verhalten softwaremäßig abgebildet werden kann.

Der generelle Ansatz, die Organisationsmechanismen von Insektenkolonien zu nutzen, um inhärent verteilte Problemstellungen zu lösen, erscheint hier als vielversprechend. Diese Vermutung wird gestützt durch die Kenntnis über die besondere Fähigkeit von Insektenkolonien (bzw. von Schwärmen im allg.), Störungen in der Organisation ihrer Kolonie sehr schnell ausgleichen zu können.

2 Die Problemstellung der reaktiver Planung

In [14] wird die Problemstellung der reaktiver Planung deutlich. Die Hauptursache und die damit verbundene Notwendigkeit der reaktiven Planung liegt in der sich ständig ändernden Planungsumgebung von praxisrelevanten Produktionsumgebungen. Die durch Ereignisse verursachten Änderungen, wie z.B.: neue Aufträge, Maschinenausfälle etc., müssen in den weiteren Planungen mit berücksichtigt werden, um wieder Pläne zu erhalten, die bestimmte Nebenbedingungen erfüllen.

Nach [8] sind beim Anpassen eines Planes an die geänderten Umgebungsbedingungen durch die reaktive Planung drei Zielsetzungen zu beachten, die hier verkürzt angeführt werden:

1. Eine schnelle Reaktion ist gewünscht.
2. Die Gesamtqualität des Planes soll nicht verschlechtert werden.

3. Die Reaktion auf Änderungen soll mit möglichst wenig Änderungen am bestehenden Plan erfolgen.

3 Grundlagen

3.1 Swarm Intelligence (SI)

Zu der Kategorie der naturanalogen Optimierungsverfahren gehört u.a. der Bereich der *Swarm Intelligence (SI)*. Ein Schwarm kann als eine Gruppe von Individuen beschrieben werden, die mittels direkter und indirekter Kommunikation sowie ohne zentrale Lenkung miteinander agieren und damit ihre Effizienz bei einer Problemlösung steigern können. Die Besonderheit des Schwarms liegt in seiner Fähigkeit, sich sehr schnell zu formieren und ohne vorherige Planung flexibel und koordiniert zu handeln.

In Annäherung an [4] kann die Frage, was Swarm Intelligence ist, mit folgenden Merkmalen beschrieben werden:

- Schwärme bzw. Schwarmteilnehmer arbeiten ohne (Ober-)Aufsicht.
- Teamarbeit im Schwarm funktioniert nach dem Prinzip der Selbstorganisation.
- Koordination entsteht durch unterschiedliche Interaktionen zwischen den Individuen und den Individuen und der Umwelt.
- Relativ primitive Interaktionen der Individuen ergeben in der Gesamtheit des Schwarmverhaltens effiziente Lösungsstrategien für komplexe Probleme.

Wie aus den in der Literatur zu findenden Definitionen zu erkennen ist, ergibt sich die Lösung einer Fragestellung nicht auf dem Wege eines globalen Problemlösungsprozesses, sondern aus Sicht einer lokalen Problemlösungsstrategie. Durch die n-fache Umsetzung der Strategie wird ein Problemlösungsprozess instanziiert, der die Grundlage für das sogenannte Emergenz-Phänomen bildet. Die zur Emergenz beitragenden Prozesse sind eingebettet in das Konzept der Stigmergie¹. Die Stigmergie geht davon aus, daß das Verhalten eines Individuums durch die aktuelle Konfiguration seiner lokalen Umwelt bestimmt wird, wobei die Umwelt wiederum durch die Aktivitäten der in ihr enthaltenen Individuen verändert wird. Die darauf beruhenden autokatalytischen Prozesse² führen in Verbindung mit individuellen Verhaltensweisen der einzelnen Teilnehmer eines Schwarmes zu emergenten Koordinationsstrukturen, die der Erfüllung der Aufgaben eines Schwarmes dienen.

Diese sind wesentliche charakteristische Merkmale von SI-Lösungsstrategien. Durch die damit verbundenen Strukturellen Eigenschaften ergeben sich im Vergleich zu herkömmlichen Lösungsstrategien folgende Vorteile:

¹ Konzept zur Koordination einer großen Anzahl von Individuen

² Ein autokatalytischer Prozess ist ein Prozess, der sich selbst verstärkt, so dass er sehr schnell konvergiert.

- *Flexibilität:*
Die Gruppe (Schwarm) kann sich schnell ändernden Umgebungsbedingungen anpassen.
- *Robustheit:*
Selbst wenn ein oder mehrere Teilnehmer ausfallen, kann ein Schwarm seine Aufgabe weiter ausführen.
- *Selbstorganisation:*
Der Schwarm benötigt keine zentrale Kontrollseinheit oder etwa eine hierarchische Organisationsform.

Die angeführten Vorteile gelten als notwendige und nachhaltige Voraussetzungen zur Behandlung von reaktiven Planungsproblemen in verteilten Wertschöpfungsketten.

3.2 Wegewahl eines Schwarmteilnehmers (ST)

Im folgenden wird beschrieben, wie die Wegewahl eines ST in einem Graphen im allgemeinen funktioniert. Die Beschreibung erfolgt in Anlehnung an die algorithmische Darstellung in [3] und [6].

Die Intensität einer Spur, die Einfluß auf die Wahl eines Weges von i nach j hat, wird beschrieben durch τ_{ij} . Je größer der Wert für τ_{ij} , desto wahrscheinlicher wird dieser Weg vom ST gewählt. Mit der folgenden Formel wird die Wahrscheinlichkeit zur Auswahl eines Weges bestimmt:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in AL} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} \quad (1)$$

Die Formel gibt die Wahrscheinlichkeit zur Wahl des Weges von i nach j für den k -ten Schwarmteilnehmer zum Zeitpunkt t an. Mit η_{ij} wird das ‘‘Bewußtsein‘‘ des ST von der Sichtbarkeit des Weges von i nach j mit $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ beschrieben, wobei durch d_{ij} der Abstand bzw. die Gewichtung der Kante von i nach j gegeben ist. Die Menge AL beschreibt alle möglichen Wege, die aus der Sicht von i gegangen werden können. In Analogie zum Beispiel steht AL für die Menge der Ausgangsleistungen (siehe Beschreibung im Bsp.-Szenario). Von besonderem Interesse sind in dieser Formel die beiden Parameter α und β . Mit diesen Parametern wird die Wirkung von Spur und Sichtbarkeit kontrolliert. In den Extremfällen $\alpha = 0$ werden nur die nächsten Knoten gewählt, globale Informationen gehen verloren. Im Fall $\beta = 0$ spielt nur die Spurverstärkung bei der Auswahl eine Rolle. Dies hat zur Folge, daß ein Weg relativ schnell ausgewählt wird, dieser jedoch nicht optimal sein muß. Ergebnisse zu besten Parameterkonfigurationen sind in [7] dargestellt.

Wenn die ST den Zielknoten j erreicht haben, wird auf der Kante ij die Spur um $\Delta\tau_{ij}(t, t+n)$ von jedem ST erhöht. D.h. je kürzer die Kante ij ist, desto eher wird die Spur aktualisiert und desto eher nimmt die aktualisierte Spur Einfluß auf die Kantenwahl der anderen ST, so daß mit einer zunehmenden Anzahl von Schritten sich die Kante gegenüber den anderen bei der Wahl in

dem Graphen durchsetzt. Nach [3] kann die Aktualisierung der Kanten wie folgt definiert werden:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t, t+n) \quad (2)$$

wobei mit ρ die "Verdunstung" von Informationen gesteuert wird. Dies dient zum einen dazu, daß der Algorithmus nicht in einer Lösung verharrt und neue Wege gefunden werden, wenn alte nicht mehr gangbar sind. Das Dilemma von ρ liegt in seiner richtigen Wahl. Gehen durch ein zu kleines ρ Informationen zu schnell verloren, wird über den gesamten Graphen nicht der optimale Weg gefunden. Wird durch die Wahl von ρ das "Vergessen" von Informationen nicht unterstützt, verharrt der Algorithmus nach einiger Zeit in einem Suboptimum.

Die Formel 1 und 2 wurden in [3] motiviert, um einen Ansatz für die Wegewahl beim TSP-Problem zu entwickeln.

4 Lösungsansatz

Zur Abbildung von Wertschöpfungsnetzen auf ein schwarmbasierendes Agentensystem sollen im Projektvorhaben die in [2] dargestellten Erkenntnisse einfließen. Die Anwendung von SI als Strategie zur Lösung reaktiver Planungsprobleme innerhalb einer hochdynamischen Wertschöpfungskette gestattet die Modellierung aus Sicht eines Schwarmes, indem der Schwarm als Metapher dient. Aus diesem Zusammenhang sind die wesentlichen Bestandteile des Bildes wie z.B.: *Umwelt*, *Schwarm* und *Schwarmteilnehmer* zu untersuchen und ihre Funktionen im Modell darzustellen. Die bei einer Abbildung des Schwarmansatzes auf eine verteilte Wertschöpfungskette auftretende Frage, wie was abgebildet werden soll, ist dabei zu beantworten. In diesem Kapitel werden zunächst Aspekte zur Abbildung des Schwarmes bzw. zur Modellbildung im Allgemeinen betrachtet. Anschließend erfolgt eine Darstellung möglicher algorithmischer Erweiterungen sowie einer Veranschaulichung des Lösungsverfahrens an einem Beispielszenario.

4.1 Abbildung - Schwarm als Metapher

Umwelt: *Wie soll eine Wertschöpfungskette im System repräsentiert werden?*

Für den Schwarm dient die Umwelt in erster Linie als Kommunikationsmedium zur Koordination der Aktivitäten der einzelnen Schwarmteilnehmer. Bei der Modellierung der Umwelt sind die Bestandteile ausfindig zu machen, welche notwendige Voraussetzung für die Existenz eines Schwarmes sind, der die Zielsetzung der reaktiven Planung verfolgt. Zur Umwelt gehören demzufolge Bestandteile der Wertschöpfungskette, die die zur reaktiven Planung notwendigen Informationen liefern, um die Entscheidungsfindung bei der reaktiven Planung zu unterstützen. Im folgenden sind die Bestandteile der Umwelt mit den aus den Wertschöpfungseinheiten verbundenen Informationen aufgeführt.

– Wertschöpfungseinheit

Eine Wertschöpfungseinheit setzt sich zusammen aus einer Menge von Ein-

gangsleistungen EL , einer Menge von Ausgangsleistungen AL und dem Wertschöpfungsprozeß. Durch die Definition gegenseitiger Abhängigkeiten der Wertschöpfungseinheiten wird die strukturelle Abbildung der Wertschöpfungskette erzielt. Die Abbildung der Wertschöpfungskette durch miteinander netzartig verbundene Wertschöpfungseinheiten stellen einen wesentlichen Bestandteil der synthetischen Umwelt dar.

– Wertschöpfungsprozeß

Ein Wertschöpfungsprozeß enthält Transformationsprozesse, die die ihm zugeführten EL in die von ihm zur Verfügung gestellten AL transformieren. Bei einer nach lokalen und globalen Gesichtspunkten gegliederten Betrachtung des Planungsproblems wie im Multi-Site Scheduling [14] kann dieser Wertschöpfungsprozeß wiederum weitere Wertschöpfungsketten enthalten. Der Prozeß kann mit verschiedenen Kenngrößen beschrieben werden, die u.a. Auskunft über seine Leistungsfähigkeit geben oder Informationen über seinen internen Zustand enthalten können. Diese Informationen können als Kriterien für die Wahl der Wertschöpfungskette herangezogen werden. Von besonderem Interesse für das angeführte Beispiel-Szenario soll das Attribut Produktionsdauer sein.

– Eingangsleistung

Eingangsleistungen repräsentieren materielle und immaterielle Güter. Sie können Ausgangsleistungen anderer oder desselben Wertschöpfungsprozesses sein. Da sie mit diskreten Werten quantifiziert werden können, liefern sie Informationen, die bei der Wahl eines Leistungslieferanten herangezogen werden können.

– Ausgangsleistung

Ausgangsleistungen repräsentieren wie Eingangsleistungen materielle und immaterielle Güter. Auch sie können mit diskreten Werten quantifiziert werden. Leistungsbeschreibende Attribute könnten beispielsweise Preis, Qualität und Verfügbarkeit sein, welche zur Entscheidungsunterstützung bei der Wahl einer Leistung herangezogen werden können.

Schwarm: *Was wird durch den Schwarm abgebildet?*

Der Schwarm besteht aus einer Menge von Individuen, den sogenannten Schwarmteilnehmer (ST). Die ST wechselwirken untereinander, aber auch mit ihrer Umgebung. Durch die Interaktionen der einzelnen ST werden durch sie modifizierbare Objekte so verändert, daß die Objekte in ihrer Gesamtheit Problemlösungswege aufzeigen können, ähnlich wie es auch in [5] bei der Suche nach einem kürzesten Weg für einen Handlungsreisenden zu sehen ist. Voraussetzung für dieses emergente Verhalten sind die in den ST hinterlegten Lösungsstrategien sowie die modifizierbaren Objekte, auf welche die Resultate aus den Problemlösungsstrategien angewendet werden können.

So ist der Schwarm an sich ein auf Populationsbasiertheit beruhender Problemlösungsprozeß, der keine globale Problemlösungsstrategie verfolgt, sondern

die n-fache Umsetzung einer lokalen Problemlösungsstrategie anstrebt. Die fortwährende Aktivität des Schwarms soll die ihn umgebende Umwelt so verändern, daß in ihr mögliche Handlungsalternativen bei einem reaktiven Planungsszenario ersichtlich sind.

Schwarmteilnehmer: *Woraus besteht ein Schwarmteilnehmer?*

Ein ST besteht aus einer Reihe von Fähigkeiten, die es ihm ermöglichen, in Richtung seiner Zielsetzungen Einfluß auf die ihn umgebende Umwelt zu nehmen. Dazu sind die Wahrnehmung des Zustandes seiner unmittelbaren Umgebung sowie die Möglichkeit der Einflußnahme auf den Zustand der Umgebung von grundlegender Bedeutung. Diese Fähigkeiten sind die Ausprägungen der Interaktionsmöglichkeiten zwischen der synthetischen Welt und der in ihr agierenden Schwarmteilnehmer. So gehören zur Umgebung eines ST nicht nur die synthetische Umwelt sondern auch die in ihr enthaltenen anderen ST.

Um die Interaktionsmöglichkeiten in eine Sequenz von zielgerichteten Handlungen zu transformieren, ist Kommunikation erforderlich, die letztlich zur Koordination der möglichen Aktivitäten eines ST dient. Die Kommunikationsmöglichkeiten eines ST sind sowohl direkter als auch indirekter Natur, wobei die indirekte Kommunikation gerade bei naturanalogen Schwärmen von besonderem Interesse ist.

Bei der indirekten Kommunikation erfolgt der Informationsaustausch über die Interaktionsmöglichkeiten mit der synthetischen Umwelt. Hierzu werden die sogenannten Markerobjekte benötigt. Über diese Objekte werden Markierungen in der Umwelt hinterlegt, die von anderen Teilnehmer wahrgenommen werden können. Diese Markierungen können sowohl der unidirektionalen als auch der bidirektionalen Kommunikation dienen.

Die direkte Kommunikation kann vor allem dazu dienen, um unmittelbaren Einfluß auf die Handlungen des Kommunikationspartners bzw. der Kommunikationspartner zu nehmen. Aus anwendungsorientierten Gesichtspunkten ist hier die Möglichkeit zur Kommunikation mit einer unterschiedlichen Anzahl von Kommunikationsteilnehmern von besonderem Interesse. Die damit verbundenen Erwartungen liegen u.a. in der notwendigen Transparenz von entscheidungsrelevanten Informationen, welche beispielsweise die Wahl eines Wertschöpfungsweges positiv beeinflussen können.

Ein ST besitzt demzufolge Kommunikationsmechanismen, um diese beiden Arten der Kommunikation für seine Handlungen einzusetzen. Da ein ST als eine von vielen Instanzen eines Lösungsprozesses angesehen werden kann, kann es von besonderem Nutzen sein, andere ST der gleichen Gattung über gravierende Änderungen im Problemlösungsumfeld möglichst effizient und zeitnah zu informieren. Eine nahezu optimale Gestaltung dieser Abstimmung würde das reaktive Verhalten in schwarmbasierenden Systemen positiv beeinflussen. Um dieses Ziel erreichen zu können, ist eine abgestimmte Ausgestaltung der direkten und indirekten Kommunikationsmöglichkeiten für einen ST notwendiger Bestandteil.

Als weiterer Bestandteil eines ST kann ein regelbasierter Mechanismus angesehen werden, der vor allem die Zielsetzungen der Formeln 3 und 5 berücksichtigt und die Steuerung der Aktivitäten beeinflussen kann.

4.2 Algorithmischer Lösungsansatz

Der algorithmische Lösungsansatz verfolgt die Zielsetzung, die Wegewahl von Schwärmen so zu gestalten, daß ein möglichst schnelles, flexibles und zielgerichtetes Verhalten des Schwarmes realisiert werden kann. Dazu soll die Konditionierung von Wertschöpfungsketten einen wesentlichsten Beitrag leisten. Die bisher aufgeführten Vorteile von Schwärmen wie *Flexibilität*, *Robustheit* und *Selbstorganisation* sollen nicht verringert, sondern vielmehr so genutzt werden, daß sie den Anforderungen der reaktiven Planung in Wertschöpfungsketten gerecht werden können.

Aus diesem Grunde sollen schwarmbasierende Ansätze vor allem in den Punkten *Wegewahl* und *Spuraktualisierung* die im folgenden angeführten Erweiterungen erfahren.

Wegewahl: Im bisherigen Ansatz wurde lediglich die Intensität der Spur über τ_{ij} und die Distanz in Form der Sichtbarkeit mit η_{ij} in der Auswahl einer Kante berücksichtigt. Sie enthalten normierte Größen, die die Gewichtung der Kante bestimmen. In Folgeschritten wurde diese Gewichtung verändert, um die Kantenwahl zu beeinflussen.

Dabei existieren eine Reihe von zusätzlichen Informationen, die zur Auswahl von Wertschöpfungsalternativen beitragen können. Diese sollen in der Größe λ berücksichtigt werden. So ergibt sich auf Basis der Formel 1 die Wahrscheinlichkeit zur Auswahl einer Kante mit:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in AL} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} \cdot \lambda \quad (3)$$

In dem Projektvorhaben ist zu klären, wie λ gestaltet werden könnte. Für den Gestaltungsansatz kommen eine Reihe unterschiedlicher Merkmale zum tragen, die für die Auswahl von Handlungsalternativen relevant sein können. Als mögliche Merkmale gelten:

- *Die relative Bedeutung einer Kante: ω*
Je häufiger eine Kante Bestandteil einer Wertschöpfungskette ist, die unter konditionierten Bedingungen als Wertschöpfungsalternative den Planvorgaben am ehesten entspricht, desto größer ist ihr relative Bedeutung bei der Auswahl einer Kante.
- *Häufigkeit und Stärke der Schwankungen: ζ*
Je häufiger und stärker die Schwankungen der normierten Attribute ³ einer

³ Auf eine diskrete Einheit reduzierte Darstellung unterschiedlicher Kenngrößen zur Gewichtung einer Kante. (Im Bsp.-Szenario: Produktionsdauer)

Kante sind, desto unzuverlässiger ist die Kante im Beitrag ihrer Wertschöpfung innerhalb der Wertschöpfungskette.

– *Durchschnittswert ϕ über einen Zeitraum δt*

Mit ϕ wird der Durchschnittswert der normierten Attribute einer Kante angegeben.

So enthält λ Meta-Informationen und setzt sich zusammen aus:

$$\lambda = \omega_{ij}^{\gamma} \cdot \zeta_{ij}^{\delta} \cdot \phi_{ij}^{\epsilon} \quad (4)$$

wobei mit γ , δ und ϵ die einzelnen Merkmale gewichtet werden können. Es ist zu beachten, daß der Einfluß von λ in p eingeht.

Marker-Update: Desweiteren ist im Projektvorhaben zu klären, wie das Update der Marker-Objekte zu Gunsten einer schnellen reaktiven Steuerung modifiziert werden kann.

Eine Lösungsmöglichkeit zur Aktualisierung der Markerobjekte besteht darin, im Bereich der bereits gut konditionierten Ketten durch spezielle Schwärme nach Handlungsalternativen zu suchen. Die Ergebnisse der Suche können als zusätzlicher Term in die Aktualisierung der Markerobjekte einfließen, wodurch ein Spektrum von Wertschöpfungsketten herausgearbeitet werden würde, welche für reaktive Handlungen prädestiniert sind. Die Suche und die Qualität der Handlungsalternativen würden dadurch zunehmen. Die Marker-Update-Funktion könnte auf Basis der Formel 2 wie folgt aufgebaut werden:

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t, t+n) + s \cdot \Delta\tau_{ij}^s(t, t+n) \quad (5)$$

wobei s den speziellen Schwärmen zu zuordnen ist.

4.3 Beispiel-Szenario

Zur Darstellung der SI-basierenden Lösungsstrategie der reaktiven Planung wird im Folgenden in Anlehnung an [14] ein Szenario aus dem Bereich der reaktiven Ablaufplanung aufgebaut. Die mit einer solchen Planung verbundenen Modellierungsansätze sind in [13] dargestellt.

Wertschöpfungsdaten Dies Beispiel soll vor allem zeigen, welchen Einfluss Ereignisse auf einen Ausgangsplan haben, und die Komplexität verdeutlichen, die sich aus der Frage nach geeigneten Handlungsalternativen ergibt. Dazu sind in Tabelle 1 Daten angegeben, die Auskunft über die notwendigen Wertschöpfungsschritte für das Produkt P geben. Das Produkt wird mit unterschiedlichen Wertschöpfungsschritten auf einer gewissen Anzahl alternativer Wertschöpfungseinheiten erstellt. Bei der Wahl einer Wertschöpfungseinheit ist die unterschiedliche Wertschöpfungsdauer zu berücksichtigen. Die Wahl alternativer WSE in den nächsten Wertschöpfungsschritten wird durch den Graphen in Abbildung 1

Produkt	WS-Schritt	WS-Einheit	Dauer
P	1	r111	2
		r112	3
		r113	1
P	2	r114	3
		r113	2
		r115	1
P	3	r115	1
		r114	4

Tabelle 1. Wertschöpfungsschritte für Produkt P

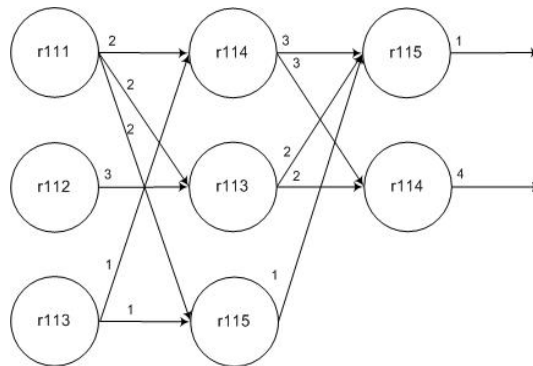


Abbildung 1. Wertschöpfungsgraph für Produkt P

weiter eingeschränkt. Die Knoten repräsentieren die Ressourcen, die Kanten die möglichen Übergänge von einer WSE zur nächsten in der Wertschöpfungskette. Der an den Kanten eingetragene Betrag gibt die Dauer der Produktion in dem jeweiligen WS-Schritt an.

Ereignisse In der Tabelle 2 sind beispielhaft gängige Ereignisse aufgeführt, die zu einer Störung des Ausgangsplanes führen. Ein neuer Auftrag ist in der Form: “Auftragsnummer / Produkt / frühester Beginn - spätester Beginn“ angegeben. Änderungen sind textuell und der Ausfall einer Ressource unter Angabe der Ressourcennummer erklärt. Anhand des konditionierten Wertschöpfungsnetzes⁴ ergeben sich Handlungsalternativen, die als Reaktion in der Form: “Schritt-Ressource[von-bis]/Schritt-Ressource[von-bis]...” in die Tabelle eingetragen sind.

4.4 Lösungsstrategie

⁴ Konditionierung des Wertschöpfungsnetzes siehe 4.4

Ereignis	Reaktion
E1: Neuer Auftrag A1/P/2-7	Neueinplanung: 1-r113[2-3]/2-r115[3-4]/3-r115[4-5]
E2: Neuer Auftrag A2/P/2-12	Neueinplanung: 1-r113[3-4]/2-r115[5-6]/3-r115[6-7]
E3: Änderung Schritt 1 auf r113 dauert 2 Zeiteinheiten länger	Neueinplanung: 1-r111[3-5]/2-r115[5-6]/3-r115[6-7]
E4: Ausfall r115	Neueinplanung: 1-r111[3-5]/2-r113[5-7]/3-r114[7-11]

Tabelle 2. Ereignisse und Reaktion

Konditionierung des Wertschöpfungsnetzes Unter Konditionierung einer Wertschöpfungskette ist die Bewertung von Handlungsalternativen zu verstehen. Mit der Schwarm-basierenden Konditionierung wird die Frage beantwortet, welche Wertschöpfungskette in einem gegebenen Wertschöpfungsnetz die Erstellung einer Leistung übernehmen soll. Die Selektion dieser Kette erfolgt mit Hilfe SI-basierender Strategien, wobei Zielsetzungen, wie z.B.: minimale Kosten, kurze Produktionsdauer, etc. berücksichtigt werden können. Im aufgeführten Beispiel sollen die Dauer der Produktion als Kriterium in die Auswahl von Handlungsalternativen einfließen, wobei die Gesamtproduktionsdauer ein Minimum annehmen soll.

Im *ersten Schritt* der Konditionierung sollen Wertschöpfungsketten (WSK) ermittelt werden, die die gewünschte Wertschöpfung erbringen können.

Im *zweiten Schritt* werden diese WSK in ein relatives Verhältnis zueinander gesetzt, welches Auskunft darüber gibt, zu wieviel Prozent die WSK die gewünschten Kriterien bis jetzt am besten erfüllen kann. Bei der Betrachtung stehen nur die bisher bekannten WSK im Verhältnis.

Im *dritten Schritt* werden Marker innerhalb der synthetischen Umwelt derart verändert, so daß sie die Entscheidungsfindung der Wegewahl beeinflussen. Die Stärke des Einflusses auf die Wegewahl ist abhängig von dem relativen Anteil der Kante an der Lösungsfindung (Weg mit minimaler Produktionsdauer).

Im *vierten Schritt* beginnt die Suche nach möglichen WSK von neuem, wobei die Gewichtungen der vorherigen Lösungen mit berücksichtigt werden. Nachdem neue WSK ermittelt wurden, wird das Verfahren an Schritt 2 fortgesetzt.

Die Graphiken in den Abbildungen 2 bis 4 sollen einen Eindruck von der Entwicklung der Markerobjekte geben. Die Angaben der Markerobjekte beruhen nicht auf den Ergebnissen eines Systems, sondern dienen lediglich zur Veranschaulichung der Entwicklung des Konditionierungsprozesses. Die Markerobjekte sind wegen der Übersicht und Lesbarkeit innerhalb der Knoten durch $M : x$ angegeben, wobei x Auskunft über den Grad des augenblicklichen Einflusses bei der Wegewahl gibt.

Die Graphik 2 stellt den Zustand der Markerobjekte nach 0 Zeiteinheiten dar. Es ergibt sich eine völlig homogene Gewichtung der WSK. Die ersten Tendenzen sind nach 4 Zeiteinheiten in Abb. 3 zu erkennen, wenn die ersten ST am Ziel angekommen sind und die Schritte zwei und drei der Konditionierung durchführen. Ein ziemlich deutliches Bild des konditionierten Wertschöpfungsnetzwerkes ist in Graphik 4 zu erkennen.

Lösung	1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	Dauer	Gewichtung	Rang
1.	r111[2]	r114[3]	r115[1]	6	57,14%	4
2.	r111[2]	r114[3]	r114[4]	9	14,28%	6
3.	r111[2]	r113[2]	r115[1]	5	71,42%	3
4.	r111[2]	r113[2]	r114[4]	8	28,57%	5
5.	r111[2]	r115[1]	r115[1]	4	85,71%	2
6.	r112[3]	r113[2]	r115[1]	6	57,14%	4
7.	r112[3]	r113[2]	r114[4]	9	14,28%	6
8.	r113[1]	r114[3]	r115[1]	5	57,14%	3
9.	r113[1]	r114[3]	r114[4]	8	28,57%	5
10.	r113[1]	r115[1]	r115[1]	3	100,00%	1

Tabelle 3. Konditionierung ohne Ereignisse

Für das angeführte Szenario ergibt sich die Konditionierung in Tabelle 3. In der ersten Spalte ist die Nummer der ermittelten Lösungen zu erkennen. Da das Szenario bewußt klein gewählt wurde, entspricht die Anzahl der ermittelten Lösungen der Anzahl der möglichen Lösungen. Eine mögliche Lösung gibt in der zweiten Spalte Auskunft über die Resource, die für die Lösung im ersten Wertschöpfungsschritt zu verwenden ist. In der dritten und vierten Spalte jeweils für den zweiten und dritten Wertschöpfungsschritt. In eckigen Klammern ist die Anzahl der Zeiteinheiten für die Dauer der Produktion der Resource angegeben. In Spalte fünf ist die Gesamtproduktionsdauer der Lösung in den Wertschöpfungsschritten mit den dabei verwendeten Ressourcen angegeben. In Spalte sechs erfolgt die Gewichtung der Lösung, wobei die WSK in ein relatives Verhältnis zu den anderen Lösungen gesetzt wird. Sie gibt Auskunft darüber, zu wieviel Prozent die WSK zur besten Lösung der bisherigen Ergebnisse beiträgt. Bei der Bewertung stehen nur die bisher bekannten WSK im Verhältnis. D.h. eine WSK mit 100,00% ist die bisher beste bekannte Lösung. Handlungsalternativen ergeben sich aufgrund der Rangordnung (Spalte 7) innerhalb der Gewichtung, die bei dynamischen Umgebungen kontinuierlichen Änderung unterliegen.

Nach dem Eintreffen von Ereignis E3 verändert sich die Dauer der Wertschöpfung der Resource r113 von 1 auf 3 Zeiteinheiten. Damit ergibt sich eine neue Konditionierung und eine andere Rangordnung von Wertschöpfungsalternativen (siehe Tabelle 4).

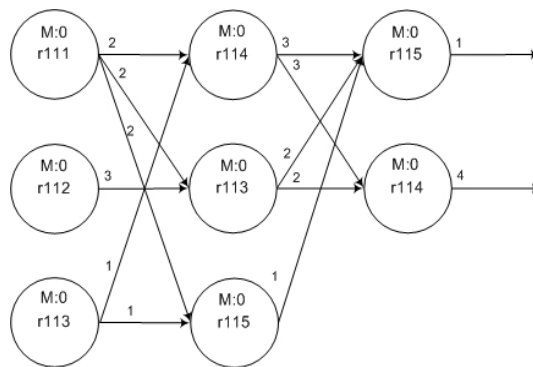


Abbildung 2. Zustand der Markerobjekte bei 0 ZE

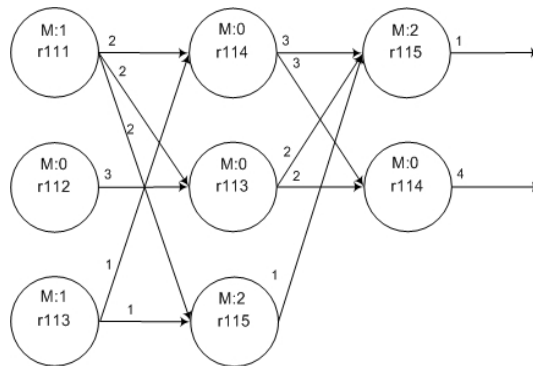


Abbildung 3. Zustand der Markerobjekte bei 4 ZE

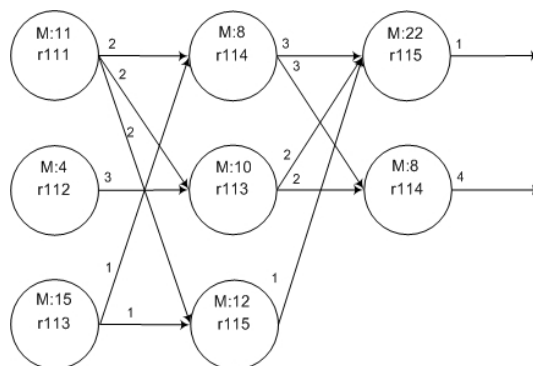


Abbildung 4. Zustand der Markerobjekte bei 12 ZE

Lösung	1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	Dauer	Gewichtung	Rang
1.	r111[2]	r114[3]	r115[1]	6	71,42%	3
2.	r111[2]	r114[3]	r114[4]	9	28,57%	6
3.	r111[2]	r113[2]	r115[1]	5	85,71%	2
4.	r111[2]	r113[2]	r114[4]	8	42,86%	5
5.	r111[2]	r115[1]	r115[1]	4	100,00%	1
6.	r112[3]	r113[2]	r115[1]	6	71,42%	3
7.	r112[3]	r113[2]	r114[4]	9	28,57%	6
8.	r113[3]	r114[3]	r115[1]	7	57,14%	4
9.	r113[3]	r114[3]	r114[4]	10	14,28%	7
10.	r113[3]	r115[1]	r115[1]	5	85,71%	2

Tabelle 4. Konditionierung nach E3

Nach dem Eintreffen von E4: Ausfall von r115 ergibt sich eine ganz neue Ordnung von Handlungsalternativen in Tabelle 5, die im wesentlichen aus der Konditionierung aus Tabelle 4 abgeleitet werden kann. Aufgrund der durchgeführten

Lösung	1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	Dauer	Gewichtung	Rang
1.	r111[2]	r114[3]	r114[4]	9	66,66%	2
2.	r111[2]	r113[2]	r114[4]	8	100,00%	1
3.	r112[3]	r113[2]	r114[4]	9	66,66%	2
4.	r113[3]	r114[3]	r114[4]	10	33,33%	3

Tabelle 5. Konditionierung nach E4

Konditionierungen sind die Wertschöpfungsalternativen sofort ersichtlich. Der Ausfall einer Ressource ändert den Rang der Handlungsalternativen nicht, sondern verschiebt diese in dem Maße, wie sich der Ausfall einer Ressource auf die Anzahl der Handlungsalternativen auswirkt. Anders stellt sich das Ergebnis bei Ereignissen dar, die das Gefüge des Graphen durch Veränderungen der Kanten bedingen. Je nach Grad und Umfang der Änderungen ergeben sich unter Umständen ganz andere Konditionierte Wertschöpfungsnetze.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die in diesem Beitrag vorgestellte Strategie zur Lösung reaktiver Planungsprobleme in Wertschöpfungsketten befindet sich noch in der Entwurfsphase. Um einen Prototypen erstellen zu können, bedarf es noch der genaueren Untersuchung von möglichen direkten Kommunikationsmechanismen in Schwarmbasierenden Systemen, die eine mögliche Koordination der Aktivitäten über die indirekte Kommunikation durch Markerobjekte unterstützen könnten. Die bislang vorherrschende Kritik an Agentensystemen im allgemeinen und Multi-Agenten-Systemen im besonderen beruht auf den intensiven Kommunikationsszenarien, die zur Abstimmung von Aktivitäten bei kooperierend handelnden Agenten entstehen.

Der in diesem Beitrag dargestellte Ansatz einer synthetischen Umwelt, mit den in ihr enthaltenen Markerobjekten als Informationsträger für die asynchrone indirekte Kommunikation, kann als Strategie angesehen werden, die erheblich zur koordinierten Erfüllung einer Aufgabe in (Schwarmbasierenden-) Agentensystemen beitragen kann. Insbesondere leistet hier die Konditionierung eines Wertschöpfungsnetzes aufgrund einer verbesserten Wegwahl eine deutlich zielorientiertere Modifikation der Markerobjekte.

Mögliche Erweiterungen des Ansatzes liegen darin, daß die synthetische Umwelt nicht als Gebilde behandelt wird, das nur von außen durch ST veränderbar ist, sondern das eigene Transformationsprozesse initiiert, um die direkten Kommunikationsszenarien zwischen den ST weiter zu entlasten.

In zukünftigen Arbeiten soll untersucht werden, welche Kommunikationsmechanismen sich insbesondere eignen, um die Zusammenarbeit zur Bewältigung der reaktiven Planung zu koordinieren. Als Grundlage sollen dabei die Erfahrungen und Ansätze aus [16],[17] und [18] dienen, wobei Erkenntnisse aus dem Bereich des Schwarmverhaltens [1] besondere Berücksichtigung finden.

Literatur

1. Webseite der Ant Colony Optimization Home Page, <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>.
2. Appelrath, H.-J., Freese, T., Sauer, J., Teschke, T.: Strukturelle Abbildung von Produktionsnetzwerken auf Multiagentensysteme, erschienen in: KI, Künstliche Intelligenz, Heft 3/00, S. 64, arenDTaP Verlag Bremen, ISSN 0933-1875, 2001.
3. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G.: Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems, Oxford University Press, 1999.
4. Bonabeau, E., Meyer, C.: Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business, Harvard Business Review, May 2001.
5. Dorigo, M., Gambardella, L.M.: Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. TR/IRIDIA, Universität Brüssel, 1996-5.
6. Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A.: The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transaction on Systems, Vol. 26, No.1, 1996.
7. Dresch, I.: Ameisen-Algorithmen als Metastrategie in der Kombinatorischen Optimierung. Seminar Operations Research SS2000, Bereich Wirtschaftsinformatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2000.
8. Henseler, H.: Aktive Ablaufplanung mit Multi- Agenten. DISKI Band 180, Infix Verlag, Sankt Augustin, 1998.
9. Kennedy, J., Eberhart, R.C.: Swarm Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, Academic Press 2001 USA.
10. Kuhn, A., Hellingrath, B., Kloth, M.: Anforderungen an das Supply Chain Management der Zukunft, Fraunhofer Institut für Materialfluß und Logistik, Information Management & Consulting, 1998.
11. Kirn, S., Petsch, M. (Hrsg.): Workshop: „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“. Arbeitsbericht, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, 1999.
12. Parunak, H.V.D.: "Go to the Ant": Engineering Principles from Multi-Agent Systems. Annals of Operations Research, 75:69-101,1997. Available at <http://www.iti.org/~van/gotoant.ps>.
13. Sauer, J.: Wissensbasiertes Lösen von Ablaufplanungsproblemen durch explizite Heuristiken. DISKI Band 37, Infix Verlag, Sankt Augustin, 1993.
14. Sauer, J.: Multi-Site Scheduling - Hierarchisch koordinierte Ablaufplanung auf mehreren Ebenen. Habilitationsschrift, Fachbereich Informatik, Universität Oldenburg, 2002.
15. Pfohl, H.-Chr.: Supply Chain Management: Logistik plus?. Erich Schmidt Verlag, Darmstadt 2000.
16. Wooldridge, M.: An Introduction to MultiAgent Systems John Wiley & Sons, LTD, 1996.
17. Wooldridge, M., Jennings, N. R.: Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, 10 (2), 1995.
18. Wooldridge, M: Intelligent Agents, In: G. Weiss (ed.): Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, 27-77. The MIT Press, 1999.