

Die Lösung von Optimierungsproblemen mit mehrschichtigen Zielsetzungen durch die Adaption von selbststeuernden Planungsagenten

Herbert Kopfer & Jörn Schönberger
Lehrstuhl für Logistik, FB Wirtschaftswissenschaft, Universität Bremen
Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen, {kopfer,sberger}@logistik.uni-bremen.de

Zusammenfassung

Existierende Ansätze der mehrkriteriellen Optimierung können mehrschichtige Zielsetzungen nicht integrieren, wenn diese sich auf unterschiedlichen Planungsebenen befinden. Derartige mehrschichtige Probleme mit Spannungen zwischen den Zielen unterschiedlicher Ebenen treten bei der Kombination von übergeordneten Zielsetzungen eines vernetzten Logistiksystems mit den lokalen Zielen autonom agierender Knoten des Logistiksystems auf. Ein weiteres Beispiel ist die Kombination von taktischen Unternehmenszielen mit dem Zielsystem einer operativen Planung. So entstehen typischerweise Widersprüche zwischen der kurzfristigen Effizienzmaximierung und der mittelfristigen Service-Niveau-Sicherstellung. Insbesondere in Situationen mit unvorhergesehenen Lastspitzen ist die Berücksichtigung des aktuellen Zustands des Logistiksystems zur Sicherstellung der langfristigen Überlebensfähigkeit bisher kaum in die Literatur zur Transportplanung eingegangen. Wir stellen in diesem Artikel eine Ergänzung der Methode der Online-Optimierung vor, die es ermöglicht, den aktuellen Systemzustand unter besonderer Berücksichtigung mittelfristig-taktischer Zielsetzungen bei der kurzfristigen Entscheidungsfindung symbiotisch zu berücksichtigen.

1 Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Beitrags ist die gleichzeitige Berücksichtigung von mehreren Zielsetzungen eines Optimierungssystems, wobei die Zielsetzungen auf unterschiedlichen Ebenen liegen und somit nicht im Rahmen eines mehrkriteriellen Optimierungsproblems integriert werden können. Typische Situationen für derartige Zielsetzungen ergeben sich aus der simultanen Betrachtung von langfristigen und kurzfristigen Zielen, wobei die Erfüllung der langfristigen Zielsetzung aus der kurzfristigen Sicht heraus gar nicht ohne weiteres beurteilt werden kann. Eine weitere Situation, bei der Zielsetzungen auf unterschiedlichen Ebenen auftreten, ergibt sich aus der kombinierten Optimierung übergeordneter (globaler) Ziele eines Verbunds von kooperierenden Partnern einerseits und den speziellen (lokalen) Zielsetzungen eines einzelnen Partners andererseits,

wobei ein Partner nur seinen eigenen Ausschnitt aus dem Optimierungsproblem des gesamten Verbundes sieht.

Beide Situationen führen zu mehrschichtigen Zielsetzungen, die durch eine Kopplung von autonomen selbststeuernden Planungsverfahren zusammengeführt werden sollen. Das selbststeuernde Planungsverfahren repräsentiert einen Agenten, der in seinem Entscheidungsraum eine untergeordnete (d.h. die kurzfristige bzw. lokale) Zielsetzung verfolgt. Die Kopplung der Agenten basiert auf der Einbeziehung der übergeordneten (d.h. der globalen) Ziele, wobei zur Bewertung der Zustände aus der globalen Sicht mehrere Probleminstanzen gleichzeitig herangezogen werden müssen. Aufgrund der Bewertung aus der globalen Sicht wird eine Steuerung der einzelnen Planungsagenten vorgenommen, um auf diese Weise die globalen Ziele bei dem Verhalten des lokalen Optimierungsprozesses zu implantieren.

Wir möchten in diesem Artikel einen Ansatz vorstellen, der es erlaubt, automatische rechnergestützte Dispositionssysteme mit der Fähigkeit zur Selbstadaption an übergeordnete Zielsetzungen zu versehen. Um den Vorgang der Adaption auszulösen, gehen wir von Problemkonstellationen mit spontanen und unvorhersehbaren Ereignissen aus.

Als Beispiel für die Kombination von übergeordneten und untergeordneten Zielsetzungen verwenden wir die oben erwähnte Situation der Kombination von länger- und kurzfristigen Zielen im Rahmen eines online-Problems. Ein einzelner Planungsagent verfolgt die vorgegebene kurzfristige Zielsetzung für die ihm zugeordnete Probleminstanz des online-Problems. Die Kopplung geschieht durch zentrale Vorgaben an den Planungsagenten. Um diese Vorgehensweise zu realisieren, erweitern wir die in der Literatur häufig verwendete Methode der Online-Optimierung (Fiat und Woeginger, 1998) um zwei Komponenten. Einerseits integrieren wir einen Feedback-Mechanismus, der in der Lage ist, signifikante Änderungen der Planungsvoraussetzungen zu erkennen. Andererseits fügen wir der Online-Optimierungs-Methodik eine Komponente hinzu, die die zu lösenden kurzfristigen Entscheidungsproblem-Instanzen für die jeweils festgestellte Planungsvoraussetzung kalibriert und parametrisiert.

In Abschnitt 2 stellen wir das untersuchte Transportszenario vor. Das zur Steuerung des zugrunde liegenden Logistiksystems verwendete Planungssystem beschreiben wir in Abschnitt 3.

2 Transporteinsatzplanung bei spontanen Lastspitzen

Wir betrachten ein Entscheidungsproblem aus der Transportlogistik mit stochastischen Planungsdaten, bei dem für eine Fahrzeugflotte die Einsatzpläne erstellt und ggf. aufgrund von zusätzlichen Aufträgen überarbeitet werden müssen. Die zusätzlichen Aufträge werden spontan und ohne Vorhersage-Möglichkeit bekannt gegeben, so dass eine reaktive Revidierung und Überarbeitung der Einsatzpläne notwendig ist.

2.1 Literaturüberblick

Fahrzeug-Einsatzplanungsprobleme mit a-priori unsicheren und unvollständigen Planungsdaten sind in einer Übersicht von Gendreau und Potvin (1998) zusammengefasst. Psaraftis (1988) sowie Psaraftis (1995) diskutieren Unterschiede zwischen Einsatzplan-Erstellungsproblemen mit vollständig bekannten und teilweise oder komplett unsicheren Planungsdaten.

Unterschiedliche Softwaresysteme und System-Entwürfe zur automatisierten Lösung solcher Planungsprobleme werden von Slater (2002) sowie Gayialis und Tatsiopoulos (2004) vorgeschlagen.

Ghiani et al. (2003), Gendreau et al. (1999), Fleischmann et al. (2004) sowie Gutenschwager et al. (2004) untersuchen Einsatzplan-Erstellungsprobleme, in denen es notwendig ist, Entscheidungen in Echtzeit zu treffen.

Brotcorne et al. (2003) untersuchen ein Rettungsdienst-Einsatz-Szenario und entwickeln sowie evaluieren Einsatzplanungs-Strategien und -Werkzeuge.

2.2 Rahmenbedingungen und Ziele der Einsatzplanung

Wir untersuchen das Einsatzplanungsproblem eines Reparatur-Service-Unternehmens, das eine Flotte von Fahrzeugen steuern muss. Jedes Fahrzeug transportiert ein Reparatur-Team sowie die zugehörigen Werkzeuge an den jeweiligen Kunden-Ort, und das Team führt dort die notwendigen Instandsetzungsarbeiten durch.

Für jeden einzelnen Kundenauftrag gibt der Kunde ein Zeitfenster vor, in dem mit den Reparaturarbeiten begonnen werden muss. Diese Vereinbarung erlaubt es einerseits dem Kunden, seine Anwesenheit am Einsatzort des Reparaturteams zu planen. Andererseits wird durch die Vereinbarung eines Besuchstermins die Anzahl der vergeblichen Besuche am Kunden-Ort reduziert.

Falls Aufträge zeitkritisch sind, beispielsweise bei notwendigen Reparaturen von technischen Anlagen in Krankenhäusern oder Sicherheitseinrichtungen (A-larmanlagen, etc.), so müssen diese Aufträge kurzfristig in die bestehenden Pläne integriert und zeitnah ausgeführt werden. Dies bedingt eine unverzügliche Überarbeitung der bestehenden Pläne. Dabei sind jedoch die vereinbarten Besuchszeitfenster einzuhalten bzw. zu bewahren.

Falls es nicht möglich ist, dringende Kundenbesuche in den Einsatzplan für die eigenen Fahrzeuge zu integrieren, so können Aufträge für einen vorher bekannten Preis an ein Dienstleistungsunternehmen fremd vergeben werden, das die Verantwortung für die pünktliche und zuverlässige Auftragsausführung gewährleistet.

Ein zentrales Entscheidungsproblem der Einsatz- und Transportplanung besteht nun darin zu entscheiden, welche Kundenaufträge wie in die Einsatzpläne der eigenen Fahrzeuge integriert werden und welche Kundenaufträge an externe Dienstleistungsunternehmen delegiert werden. Aufgrund der Kapazitätsbeschränkung des eigenen Fuhrparks ist es unmöglich, dass alle Aufträge fristge-

mäß unter ausschließlicher Verwendung des eigenen Fuhrparks (bzw. der eigenen Serviceteams) ausgeführt werden. Um die Pünktlichkeit bei der Ausführung der Aufträge zu erhöhen, ist es daher unerlässlich, dass einige Aufträge fremd vergeben werden. Bei fremd vergebenen Aufträgen ist sichergestellt, dass diese innerhalb des vereinbarten Besuchszeitfensters durchgeführt werden.

Bei der Erstellung der Einsatzpläne sind folgende Zielsetzungen zu berücksichtigen.

- a) Die Kosten für den zu erstellenden Einsatzplan sollen möglichst gering sein, d.h. es ist eine kostenminimale Aufteilung des Auftragsbestands in fremd und eigenständig auszuführende Aufträge zu ermitteln. Des Weiteren ist für die eigene Flotte von Service-Crews eine Kosten minimierende Touren- und Routenbildung vorzunehmen. Sowohl die Entscheidung über die Fremdvergabe von Aufträgen als auch über die Routenbildung ist nach jeder Änderung des Auftragsbestands zu überprüfen und ggf. zu modifizieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein fremd vergebener Auftrag nicht storniert werden kann.
- b) Es ist eine ausreichend hohe Zuverlässigkeit des Reparatur-Services sicherzustellen. Dabei wird als Maß für die Zuverlässigkeit der Anteil λ der Aufträge berechnet, mit deren Ausführung innerhalb des mit dem jeweiligen Kunden vereinbarten Zeitfensters begonnen wird (dieses ist bei fremd vergebenen Aufträgen immer sichergestellt). Der Reparatur-Service sichert seinen Kunden zu, p^{target} % aller Aufträge innerhalb der Kundenauftragszeitfenster am Kundenort zu starten. Damit zum Zeitpunkt t eine möglichst aktuelle Aussage über die durchschnittliche Pünktlichkeit $\lambda(t)$ erfolgen kann, werden nur solche Aufträge bei der Berechnung von $\lambda(t)$ berücksichtigt, die innerhalb der letzten t^- Zeiteinheiten abgeschlossen wurden. Des Weiteren werden von den geplanten zukünftigen Ankunftszeiten nur die in die Berechnung von $\lambda(t)$ einbezogen, die innerhalb der nächsten t^+ Zeiteinheiten liegen, da zu erwarten ist, dass spätere Aufträge noch umgeplant werden.

Das Ziel, die Service-Qualität auf einem konstant hohen Niveau zu halten, ist längerfristig genauso wichtig wie die Kosten-Minimierung, da nur eine hohe Service-Zuverlässigkeit die Überlebensfähigkeit der Unternehmung mittel- und langfristig sichern kann.

Die unter a) genannte Zielsetzung der Effizienz-Maximierung ist ein operatives Ziel, das nur die jeweilige Planungssituation bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich der aktuell einzuplanenden Aufträge berücksichtigt. Dem gegenüber ist das unter b) genannte Service- und Qualitätskriterium eine mittelfristige Zielsetzung, die neben der aktuellen Entscheidungssituation auch Entscheidungen aus vorhergehenden Situationen einbezieht und deren Auswirkungen auf zukünftige Entscheidungssituationen berücksichtigt.

2.3 *Erweitertes Online-Optimierungs-Modell*

Da sich die Änderungen der Planungsdaten nicht prognostizieren lassen, können keine Entscheidungsmodelle herangezogen werden, die proaktiv unter Berücksichtigung der Planungsdaten-Unsicherheit Einsatzpläne erstellen. Vielmehr müssen die jeweils gültigen Einsatzpläne reaktiv an Änderungen angepasst werden. Da bereits die Integration neuer Aufträge in bestehende Einsatzpläne bei der Zielsetzung minimaler Kosten (maximaler Effizienz) ein schwer zu lösendes Optimierungsproblem darstellt, ist es sinnvoll, das o.a. Entscheidungsproblem als eine Sequenz von sukzessiv zu lösenden Optimierungsproblemen P_0, P_1, P_2, \dots darzustellen (Online-Optimierungsproblem).

Das Problem P_i repräsentiert die Aufgabe, aus allen zum Zeitpunkt t_i bekannten Kundenaufträgen einen kostenminimalen Einsatzplan abzuleiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bereits fremd vergebene Aufträge nicht mehr umdisponiert werden können. Des Weiteren ist sicher zu stellen, dass die Kundenzeitfenster soweit wie möglich respektiert werden.

Bei der Abbildung der Zeitfenster-Bedingung in ein mathematisches Optimierungsproblem verzichten wir auf die Aufstellung einer Restriktion, die gewährleistet, dass 100% aller Besuche innerhalb der Kundenzeitfenster stattfinden. Da wir in der Entscheidungssituation zum Zeitpunkt t_i mit Aufträgen konfrontiert sind, die erst in weiterer Zukunft stattfinden (späte Aufträge) und wir andererseits davon ausgehen, dass bis dahin die aufgestellten Pläne revidiert werden müssen, würde die zum Zeitpunkt t_i erzwungene pünktliche Einplanung aller späten Aufträge die Einsatzplanung für die kurzfristig fälligen Aufträge negativ beeinflussen. Es ist wahrscheinlich, dass für einen isolierten, am Rande des Planungszeitraums liegenden späten Kundenauftrag zum Zeitpunkt t_i eine nicht revidierbare, kostenintensive Fremdvergabe festgelegt wird, obwohl bis zum tatsächlichen Fälligkeitstermin für diesen späten Auftrag weitere zeitlich und räumlich kompatible Aufträge erteilt werden könnten, so dass eine Konsolidierung in die Route eines eigenen Fahrzeugs möglich wäre. Aus diesem Grunde wird bei der Disposition zum Zeitpunkt t_i anstelle der erzwungenen pünktlichen Ausführung nur sichergestellt, dass unpünktliche Kundenbesuche mit einem Strafterm in der Zielfunktion berücksichtigt werden. Der Strafterm darf nicht zu hoch angesetzt werden, da ansonsten eine äquivalente Wirkung wie bei einer Restriktion zur 100%-Einhaltung der Pünktlichkeit erzielt wird.

Somit beinhaltet die zu einer einzigen Planungsinstanz P_i gehörende Zielfunktion einerseits die Kosten für die eigenen Fahrzeug-Einsätze, dann die Kosten für die Fremdvergabe sowie Strafkosten für zu späte Kundenbesuche. Die Restriktionen von P_i modellieren die Routen-Konstruktionsbedingungen sowie das Verbot der Re-Integration bereits fremd vergebener Aufträge.

Ein plötzlicher signifikanter Anstieg der Anzahl der Aufträge, die eingeplant werden müssen, würde einerseits zu einer Verdichtung der Routen der eigenen Fahrzeuge führen. Andererseits würden viele eilige Aufträge fremd vergeben. Ist

der eigene Fuhrpark bereits ausgelastet, so müssen zusätzliche Aufträge entweder fremd vergeben werden oder deren Erfüllung muss in die Zukunft verschoben werden, wenn die eigenen Fahrzeuge wieder Kapazitäten frei haben. Da die Fremdvergabe typischerweise sehr kostenintensiv ist, wird diese Option nur bei sehr wichtigen und dringenden Aufträgen gewählt werden. Somit wird ein signifikanter Teil der zusätzlichen Aufträge so eingeplant, dass Zeitfenster verletzt werden, da die „Strafkosten“ niedriger sind als die Kosten der Fremdvergabe. Konsequenterweise wird die durchschnittliche Pünktlichkeit $\lambda(t_i)$, gemessen als Anteil der innerhalb der vereinbarten Zeitfenster begonnenen Kundenbesuche, absinken. Dies führt zu einer Entfernung vom mittelfristigen Ziel des Unternehmens, nämlich der Sicherstellung einer durchschnittlichen Pünktlichkeit $\lambda(t_i) \geq p^{\text{target}} \%$ aller Aufträge im betrachteten Zeitfenster $[t_i-t^-, t_i+t^+]$.

Um diese negative Auswirkungen der Schwankungen des Auftragsaufkommens abzumildern oder gar zu verhindern, wird $\lambda(t)$ als Kennzahl für die Zuverlässigkeit des Logistiksystems beobachtet. Sobald diese unter den vorgegebenen Zielwert von $p^{\text{target}} \%$ sinkt, werden alle zusätzlich eingelasteten Aufträge fremd vergeben. Die eigenen Fahrzeuge können die ihnen zugewiesenen Aufträge erledigen und trotzdem werden alle neu eingelasteten Aufträge pünktlich ausgeführt, so dass sich $\lambda(t)$ tendenziell nicht weiter verschlechtert und anschließend erholt.

Sobald festgestellt wird, dass die Pünktlichkeitsrate $p^{\text{target}} \%$ wieder erreicht worden ist, können zukünftige Aufträge wieder in die Routen der eigenen Fahrzeuge eingeplant werden.

Die erzwungene Fremdvergabe stellt sicher, dass die zusätzlichen Aufträge Lastneutral für das Logistiksystem und dennoch pünktlich erfüllt werden, auch wenn die Fremdvergabekosten über den „Strafkosten“ für eine verspätete Einplanung liegen. Des Weiteren ist sichergestellt, dass die zusätzlichen Aufträge nicht immer weiter verschoben werden, denn alle Aufträge aus der Phase mit sehr hoher Zusatzlast werden sofort fremd vergeben und können nicht mehr eigenen Fahrzeugen zugewiesen werden.

3 Autonomes Planungssystem

Im Folgenden beschreiben wir ein Software-System zur Steuerung des im vorherigen Abschnitt vorgestellten Logistiksystems. Neben der automatischen Generierung der Einsatzpläne erfolgt das Aktivieren und Deaktivieren der erzwungenen Fremdvergabe selbststeuernd, indem die bisher beobachtete Pünktlichkeit ausgewertet wird. Somit kann eine kontinuierliche autonome Steuerung des Logistiksystems erfolgen, ohne dass ein menschlicher Planer interaktiv in den Planungsprozess eingreifen muss.

3.1 System-Layout

Das Planungssystem besteht aus sechs iterativ sequentiell durchlaufenen Komponenten und vier Schnittstellen zum Logistiksystem (vgl. Abbildung 1).

In der ersten Komponente werden neu ankommende Aufträge aus dem System entgegen genommen (Schnittstelle A) und in ein internes Datenformat konvertiert. Diese Komponente testet im Abstand von 100 Zeiteinheiten, ob neue Aufträge angekommen sind. Falls ja, so werden diese gebündelt an die nachfolgende Komponente übergeben.

Die zweite Komponente erstellt aus den verfügbaren Planungsdaten ein Modell für das kurzfristige Kostenminimierungsproblem. Über die Schnittstelle B werden dafür die aktuellen Positionen der eigenen Fahrzeuge abgefragt.

Aufgabe der dritten Komponente (Feedback-Interpreter) ist es zu entscheiden, ob das mittelfristige Serviceziel noch erfüllt ist. Dafür werden zunächst über die Schnittstelle C die Erfüllungszeitpunkte der Aufträge ermittelt. Anschließend wird die aktuell erreichte Pünktlichkeitsrate $\lambda(t)$ berechnet. Falls die Pünktlichkeitsrate über der vorgegebenen Zielrate $p^{\text{target}}\%$ liegt, so wird die fünfte Komponente aufgerufen, andernfalls zunächst die vierte Komponente.

In der vierten Komponente wird allen beim letzten Aufruf der ersten Komponente eingeworbenen Aufträgen das Attribut „fremdzuvergeben“ zugewiesen, so dass diese Aufträge für die Erfüllung mit eigenen Serviceteams gesperrt sind.

Aufgabe der fünften Komponente ist die Erzeugung eines Einsatzplans, in dem beschrieben ist, wie und wann welche Aufträge ausgeführt werden. Zur Ableitung des Einsatzplans aus den Planungsdaten verwenden wir das in Schönberger (2005) entwickelte Framework für Memetische Algorithmen zur Transportplanung. Auf eine Beschreibung des Verfahrens wird hier verzichtet.

Der neue Einsatzplan wird durch die sechste Komponente an die eigenen Service-Teams sowie an die Service-Partner (für die fremd vergebenen Aufträge) weitergegeben. Die Informationsweitergabe erfolgt über die Schnittstelle D.

Nach der Bekanntgabe der neuen Einsatzpläne ist der einmalige Durchlauf des Planungssystems abgeschlossen und eine Instanz des Online-Optimierungsproblems abschließend bearbeitet worden. Zu einem vorher vereinbarten Zeitpunkt erhält die erste Komponente über die Schnittstelle A ggf. Informationen über weitere neue Aufträge, die dann nach der oben beschriebenen Vorgehensweise eingeplant werden.

3.2 Steuerung der erzwungenen Fremdvergabe

Die erzwungene Fremdvergabe von Aufträgen bei einem Abfall der System-Zuverlässigkeit stellt die einzige Möglichkeit dar, das Serviceniveau des Logistiksystems zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Somit muss dieser Mechanismus sehr zuverlässig und sensibel gesteuert werden. Wir beschreiben im Folgenden, wie die automatische Fremdvergabe aktiviert bzw. deaktiviert wird.

Sei R_t die Menge aller r_t Aufträge, die vor dem Zeitpunkt t in das System einge-
lastet wurden. Die aus f_t Aufträgen bestehende Teilmenge F_t von R_t umfasst alle
im Zeitraum $[t-t^-, t]$ fertig gestellten Aufträge. Mit f_t^+ wird die Anzahl aller Auf-
träge in F_t bezeichnet, deren Erfüllung innerhalb der vereinbarten Zeitfenster
pünktlich gestartet wurde.

Alle zur Ausführung im Zeitfenster $[t, t+t^+]$ vorgemerkten o_t Aufträge sind in der
Menge O_t zusammengefasst. Diese enthält o_t^+ Aufträge, deren Ausführungsbe-
ginn fristgerecht innerhalb des vereinbarten Zeitfensters vorgesehen ist.

Die bis zum Zeitpunkt t beobachtete Pünktlichkeitsrate $\lambda(t)$ des betrachteten Lo-
gistiksystems ist dann definiert durch $\lambda(t) := (f_t^+ + o_t^+) / (f_t + o_t)$. Durch eine Ge-
wichtung der Summanden f_t^+ und f_t ist es möglich, die Zuverlässigkeit der ver-
gangenen Periode stärker zu berücksichtigen als die der zukünftigen Periode.

Zum Zeitpunkt t ermittelt die dritte Komponente des Planungssystems zunächst
den Wert für $\lambda(t)$. Anschließend wird dieser Wert mit der vorgegebenen Zielrate
 p^{target} verglichen. Sobald festgestellt wird, dass die beobachtete Rate unter der
Zielrate liegt, also $\lambda(t) < p^{\text{target}}$ gilt, wird die Fremdvergabe für alle zusätzlichen
Aufträge aktiviert und bleibt solange in Kraft, bis sie explizit deaktiviert wird.

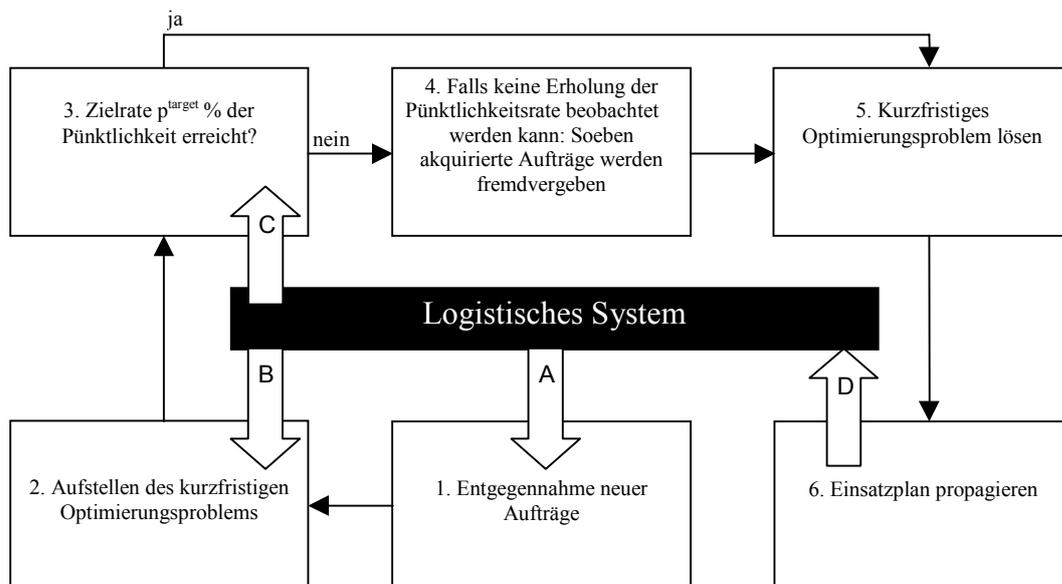


Abbildung 1: Layout des autonomen Planungsagenten

Während einer Phase mit aktivierter Zwangsfremdvergabe werden keine neuen
Aufträge in die Einsatzpläne der eigenen Fahrzeuge integriert, so dass diese Ihre
Aufträge abarbeiten können. Gleichzeitig stellen die Service-Partner, die die
fremd vergebenen Aufträge ausführen, eine pünktliche Ausführung der ihnen
übertragenen Kundenbesuche sicher. Weitere Aufträge, die in das System einge-
lastet werden und für die somit eine pünktliche Ausführung sichergestellt ist,
führen zur Erhöhung des Anteils $\lambda(t)$ der pünktlich fertig gestellten Aufträge, so

dass sich die Pünktlichkeitsrate erholt. Sobald sich $\lambda(t)$ wieder p^{target} nähert, erkennt dies die vierte Komponente und schaltet die Zwangsfremdvergabe ab.

Eine Erholung der beobachteten Pünktlichkeit kann dadurch gekennzeichnet sein, dass $\lambda(t)$ nicht mehr kleiner als p^{target} ist. In diesem Fall wird die Zwangsfremdvergabe erst dann deaktiviert, wenn die Leistung des Logistiksystems wieder die mittelfristig gewünschte Performance p^{target} aufweist. Wir bezeichnen diese Deaktivierungsstrategie als **Target Fulfilled (TF)**.

Unmittelbar nach Beginn eines signifikanten Lastanstiegs des Logistiksystems zu Beginn eines Auftrags-Peaks fällt die beobachtete Pünktlichkeit ab, ggf. sogar unter die Zielpünktlichkeitsrate, und die Zwangsfremdvergabe wird aktiviert. Wie oben beschrieben, ist zu erwarten, dass sich die Pünktlichkeitsrate nach dieser Zwangsmaßnahme erholt. Aufgrund der Tatsache, dass viele Aufträge erst in weiterer Zukunft final terminiert werden, kann angenommen werden, dass bereits vor dem Erreichen von p^{target} die vor dem Auftrags-Peak beobachtete und wiederherzustellende Performance des Logistiksystems erreicht ist. Somit kann es sinnvoll sein, die Zwangsfremdvergabe bereits vor dem Erreichen von p^{target} zu deaktivieren. In diesem Fall würde die Deaktivierung bereits dann erfolgen, wenn $\lambda(t) \geq p^{\text{target}} - \omega$ erreicht ist. Diese Deaktivierungsstrategie bezeichnen wir als **ω -Premature Fulfillment (OP)**.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben eine methodische Erweiterung des Grundmodells der Online-Optimierung zur reaktiven Entscheidungsfindung vorgeschlagen und für eine Transport-Anwendung positiv evaluiert. Ergebnisse dieser Evaluierung sind in Schönberger und Kopfer (2005) dokumentiert. Die vorgestellte Erweiterung erlaubt es, Prozesse der kurzfristigen Planung an veränderte Planungssituationen mit mittelfristigen Zielsetzungen automatisiert anzupassen. Somit kann durch das erweiterte Online-Optimierungsmodell der methodische Bruch zwischen wiederholter kurzfristiger Entscheidungsfindung und einer übergeordneten mittelfristigen Planung überbrückt werden.

5 Literaturverzeichnis

- Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., 2003. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research* 147, pp. 451-463.
- Fiat, A., Woeginger, G. (Eds.), 1998. *Online Algorithms: The State of the Art*. Springer.
- Fleischmann, B., Gnutzmann, S., Sandvoß, E., 2004. Dynamic vehicle routing based on online traf_c information. *Transportation Science* 38 (4), pp. 420-433.

- Gayialis, S., Tatsiopoulos, I., 2004. Design of an it-driven decision support system for vehicle routing and scheduling. *European Journal of Operational Research* 152, pp. 382-298.
- Gendreau, M., Potvin, J.-Y., 1998. Dynamic vehicle routing and dispatching. In: Crainic, T., Laporte, G. (Eds.), *Fleet Management and Logistics*. Kluwer, pp. 115-126.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.-Y., Taillard, E., 1999. Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. *Transportation Science* 33 (4), pp. 381-390.
- Golden, B., Assad, A. (Eds.), 1988. *Vehicle Routing: Methods and Studies*. North-Holland.
- Gutenschwager, K., Niklaus, C., Voß, S., 2004. Dispatching of an electric monorail system: Applying metaheuristics to an online pickup and delivery problem. *Transportation Science* 38 (4), pp. 434-446.
- Psaraftis, H., 1988. Dynamic vehicle routing problems. In: Golden and Assad (1988), pp. 223-248.
- Psaraftis, H., 1995. Dynamic vehicle routing: status and prospects. *Annals of Operations Research* 61, pp. 143-164.
- Schönberger, J., 2005. *Operational Freight Carrier Planning*. Springer.
- Schönberger, J., Kopfer, H., 2005. Autonome operative Transportplanung unter Berücksichtigung von taktischen Qualitätszielen. In: Wäscher, G., Inderfurth, K., Neumann, G., Schenk, M., Ziem, D. (Eds), *Intelligente Logistikprozesse – Konzepte, Lösungen, Erfahrungen*. Proceedings of the Magdeburger Logistiktagung 2005, pp.182-195.
- Slater, A., 2002. Specification for a dynamic vehicle routing and scheduling system. *International Journal of Transport Management* 1, pp. 29-40.
- Solomon, M., 1987. The vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research* 35 (2), pp. 254-265.

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“ unterstützt sowie durch die Bremer Innovations-Agentur (BIA), gesponsort durch den EU-Fond („FUE0342B)