

# Konzept einer Schedulingkomponente für ein Krankenhaus-Multiagentensystem

Rainer Herrler, Christian Heine, Frank Puppe

University of Würzburg, Department for Artificial Intelligence,  
herrler@informatik.uni-wuerzburg.de  
<http://ki.informatik.uni-wuerzburg.de/>

**Abstract** In diesem Paper stellen wir ein Konzept für eine flexible Agentenkomponente vor, die es ermöglichen soll, die Agenten eines Multiagentensystems mit eigenen Scheduling- und speziellen Kommunikationsfähigkeiten ausstatten, so daß Szenarien aus dem kooperativen Scheduling im Krankenhaus modelliert werden können. Das entwickelte Framework kann unterschiedlich aufwendige Problemlösungsmethoden für die einzelnen Schedulingaufgaben integrieren. Eine gemeinsame Problemrepräsentation legt die Grundlage dafür, daß diese leicht ausgetauscht werden können.

## Einleitung

Wirtschaftliche Optimierung im Krankenhaus bedeutet vor allem das Erstellen guter Schedules für Geräte, Patienten oder Personal. Bewertungskriterien können hierbei die Wartezeiten eines Patienten auf eine Untersuchung oder eine hohe Auslastung teurer Geräte wie z.B. Computertomographen sein.

Die verschiedenen Schedulingaufgaben im Krankenhaus haben Wechselwirkungen untereinander und sind auf verschiedene Organisationseinheiten verteilt. Der Grund liegt zum einen in der durch die Organisation bestimmten Verantwortlichkeitsstruktur, als auch an der Komplexität der Probleme, die die Anwendung des zentralen Scheduling erschweren.

Eine weitere Eigenart der Schedulingprobleme im Krankenhaus ist, daß die Ziele der verschiedenen Akteure (Stationen, Ärzte, Schwestern) konfliktionär und abweichend vom Organisationsziel sein können. Das kann das Abbilden dieser Ziele in eine Schedulingstrategie mit einem zentralen Ansatz sehr schwer machen.

Das Eintreffen von Notfällen, der Ausfall von Geräten und ein unerwarteter Krankheitsverlauf, sind Beispiele für die

Dynamik der Umgebung. Ein geeigneter Ansatz muß auch dies berücksichtigen und Möglichkeiten zum Rescheduling eines bestehenden Plans bieten.

Die in der Forschung behandelten Schedulingaufgaben in Krankenhäusern umfassen verschiedene Aufgabenfelder wie z.B. "Dienstplanung des Pflegepersonals" [13] und "Untersuchungs- und Behandlungsscheduling" [1],[9],[10]. Bei der Dienstplanung werden stationsweise die zu leistenden Dienste für einen festgelegten Zeitraum auf das Pflegepersonal einer Station verteilt. Dabei sind gesetzliche Vorschriften und möglichst auch die Wünsche des Personals zu berücksichtigen. Der Lösungsraum dieser Probleme ist im allgemeinen zu komplex für exakte Suchverfahren. Für diese Aufgabe eignen sich z.B. nichtverteilte wissensbasierte Problemlösungsmethoden. In [13] werden beispielsweise Operations-Research-Techniken mit heuristischer Suche kombiniert. In [4] wird ebenfalls ein zentraler Problemlöser auf das auf das Problem der Dienstplanung in Krankenhäusern angewendet.

Beim "Untersuchungsscheduling" müssen geeignete zur Verfügung stehende Ressourcen (z.B. Geräte, Stationen) für Untersuchungen oder Behandlungen an Patienten gefun-

den werden. Einige Arbeiten zu diesem Problem verwenden einen Multiagenten-Ansatz, so wird in [9] eine Blackboardarchitektur für die Belegung der Ressourcen verwendet und je Patientenuntersuchung ein begleitender planender Agent kreiert. Im Gegensatz zu diesem patientenweisen Ansatz, existiert beim Scheduling aus Ressourcensicht [1] die Ressource selbst, oder die Organisationseinheit, die für sie verantwortlich ist, als Agent und übernimmt das Scheduling.

Das hier vorgestellte Konzept verbindet den ressourcenorientierten Ansatz mit patientenweisem Scheduling. Das geplante Framework ermöglicht die Modellierung von *Schedulingagenten*, die sich dadurch auszeichnen, daß sie bestimmte Aufgaben (Untersuchungen, Behandlungen, Therapien) übernehmen können und die dafür bestimmte Ressourcen entweder selbst besitzen oder selbstständig von anderer Seite aquirieren. Sie erzeugen eigene Schedules und besitzen die Fähigkeiten mit den anderen Agenten des Systems zu kooperieren, um die Qualität der Schedules zu verbessern.

Die Verfolgung des ressourcenorientierten Ansatzes bietet die Möglichkeit, im Krankenhaus vorhandene Strukturen und Vorgänge, insbesondere die Planungsautonomie einzelner Organisationseinheiten, nachbilden zu können. Der Modellbauer kann real existierende Agenten und Ressourcen in seinem Multiagentensystem modellieren und deren Verhaltensweisen inklusive deren Scheduling- und Planungsfähigkeiten abzubilden. Das patientenweise Scheduling garantiert die Einhaltung patientengebundener Restriktionen, wie Ausführungsreihenfolgen, in die die ressourcenverwaltenden Organisationseinheiten keinen Einblick haben.

Ziel des Frameworks ist nicht, die bestmögliche Lösung für das unternehmensweite Schedulingproblem zu liefern, sondern in einem Multiagentensimulationssystem [8] die Möglichkeit zum Vergleichen verschiedener Schedulingstrategien (darunter auch der aktuell im Kranken-

haus praktizierten) zu bieten. Eine neu entdeckte, bessere Lösungsmethode soll im Umkehrschluß, wieder leicht auf das Krankenhaus übertragen werden können, ohne die Organisationsstruktur des Krankenhauses völlig umgestalten zu müssen. Dies wird nämlich im Krankenhaus nur in bestimmten Rahmen möglich sein.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Zuerst stellen wir zwei typische Beispiele für Schedulingprobleme aus dem Krankenhausbereich ausführlich vor und analysieren dann ihre Unterschiede und Charakteristika. Darauf aufbauend wird ein Konzept für eine Scheduling-Komponente für Agenten vorgestellt.

## Scheduling Szenarien im Krankenhaus

Im folgenden werden die beiden schon in der Einleitung aufgeführten Beispiele Dienstplanung des Pflegepersonals und Untersuchungs- und Behandlungsscheduling genauer beschrieben.

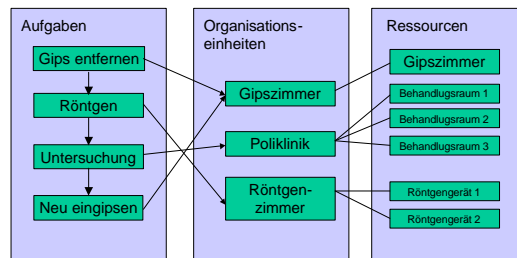
**Dienstplanung des Pflegepersonals**  
Aufgabe des Pflegepersonalscheduling im Krankenhaus ist, für jeden Tag eines bestimmten Planungszeitraumes in den einzelnen Stationen die Schichten (Früh-, Spät- und Nachtschicht) entsprechend ihrer Anforderungen mit Personal zu besetzen. Dabei müssen die einzelnen Arbeitsplätze der Schichten dem Pflegepersonal der Station zugeordnet und gesetzliche und stationsinterne Regelungen und Wünsche eingehalten werden.

In der Praxis findet hier gewöhnlich eine zentrale (stationsweite) Problemlösung statt. Durch die organisatorisch bedingte Clustering des Problems kann krankenhausweit gesehen nur eine suboptimale Lösung erreicht werden. Hier könnte deshalb ein Optimierungspotential in der kooperativen stationsübergreifenden Lösung des Problems liegen. Dieses Vorgehen wird beispielsweise in einem ähnlichen Problem, der Personaleinsatzplanung bei der deutschen Bundesbahn

[7] zur letzten Optimierung der Dienstpläne angewendet.

Ein für dieses Szenario geeigneter dezentraler Optimierungsansatz ist das Verhandeln um gleichartige Aufgaben oder Ressourcen. Es existieren hier mehrere Agenten, die dieselben Aufgaben (das Ableisten von Schichtdiensten) übernehmen können, oder die gleichartige und damit austauschbare Ressourcen (Pflegepersonal) zur Verfügung haben. Ein Agent, der eine übertragene Aufgabe nicht oder nur unter Verletzung von Optimierungskriterien erfüllen kann, versucht diese an einen anderen geeigneten Agenten abzugeben. Umgekehrt kann ein Agent, der nach seiner Planung noch freie Ressourcen hat, diese anderen zur Verfügung stellen.

**Untersuchungs- und Behandlungsscheduling** Im zweiten Schedulingbeispiel konzentrieren wir uns auf die Vereinbarung von Terminen für Untersuchungen und Behandlungsaktivitäten an den Patienten. Ich bezeichne Untersuchungen und Behandlungen in folgenden zusammengefaßt als *Aufgaben* (Aufgaben entsprechen Tasks in [1], Requests in [13] und medical activities in [10]). Einzelne Aufgaben können Teil eines Behandlungsplans (vergleiche Abbildung 1) sein und verschiedenen zeitlichen Restriktionen unterliegen, wie beispielsweise Ausführungsreihenfolgen (Gips entfernen vor Röntgen) und zeitliche Mindest- und Maximalabstände zwischen Untersuchungen (Essen, Magenspiegelung).



**Figure 1.** Beispiel eines Behandlungsplanes in einer orthopädischen Klinik. Es bestehen zeitliche Restriktionen zwischen den einzelnen Aufgaben, die von verschiedenen Organisationseinheiten ihren beschränkten Ressourcen zugewiesen werden (geschedult werden).

Agenten in diesem Szenario sind Patienten, Personal (Schwestern, Ärzte) und *Organisationseinheiten* (Stationen, Labore). Weiter kann ein Agent bestimmte eigene Ressourcen bzw. (Computertomographen, Röntgengeräte, Zentrifugen) Geräte zur Erfüllung seiner Aufgaben besitzen oder externe Ressourcen benötigen. Eine Ressource besitzt einen "Stundenplan", der ihre übernommenen Aufgaben und ihre zeitliche Verfügbarkeit enthält. Häufig hat ein Agent auch eine Doppelfunktion als Agent und Ressource. Die Präsenz einer Schwester oder des Patienten während einer Behandlung, kann als Inanspruchnahme einer Ressource betrachtet werden. Ein Computertomograph kann vereinfachend ebenfalls als sich selbst verwaltende Organisationseinheit oder als Ressource betrachtet werden.

Das Schedulingproblem umfaßt die zeitliche Zuordnung der auszuführenden Aufgaben zu Ressourcen. Wir gehen davon aus, daß eine Aufgabe von einem Agenten des (realen wie modellierten) Systems kreiert wird und daß es einen für die Ausführung der Aufgabe verantwortlichen Agenten gibt. Nach einer Untersuchung beispielsweise fordert ein Arzt weitere Untersuchungen, oder legt einen Therapieplan fest. Damit kreiert Aufgaben, die er an verschiedene Hilfseinrichtungen weiterreicht.

Im Unterschied zur Dienstplanung sind die Aufgaben nicht gleichartig und können deshalb beim verteilten Scheduling nicht unter den verschiedenen Schedulinginstanzen (Organisationseinheiten) ausgetauscht werden. Eine andere Möglichkeit zur kooperativen Problemlösung ist in diesem Falle jedoch folgende: Kann ein Scheduler die Situation nicht lösen, weil stets ein Konflikt mit einem anderen Termin<sup>1</sup> besteht, kann er die zuständige Schedulinginstanz für diesen Termin um eine Änderung bitten. Die letztendliche Entscheidung über eine Veränderung muß letztendlich durch einen Vergleich von Aufgabenprioritäten oder die Schwere der Restriktionsverletzungen beider Scheduler fallen.

### Vergleich der Beispiele im Hinblick auf die verteilte Problemlösung

Ein Unterschied der beiden eben beschriebenen Beispiele in Hinblick auf die verteilte Problemlösung wurde bereits herausgestellt. Beim Personalscheduling werden Schedules für gleichartige Aufgaben und Ressourcen von verschiedenen Organisationseinheiten erstellt. Bei Untersuchungsscheduling ist im allgemeinen jede Organisationseinheit für eine andere Aufgabe zuständig. Es ist also nicht möglich eine andere Organisationseinheit für die Erledigung einer Aufgabe zu finden.

Ein weiterer Unterschied ist die Dynamik, der die Problemstellung unterliegt. Bei der Personalplanung sind die Anforderungen an den Schedule für einen Planungszeitraum im vorhinein bekannt. Die Planung wird periodisch durchgeführt und ist dann bis zur nächsten Planungsperiode fest. Im Gegensatz dazu erfordert das Untersuchungsscheduling ein kontinuierliches<sup>2</sup>, reaktives Planen. Beim Bekanntwerden einer neuen Aufgabe wird diese sofort in den bestehenden Schedule eingebunden. Andere Aufgaben sollen dabei

im allgemeinen sowenig wie möglich umgeplant werden, es sei denn, es ergibt sich ein essenzieller Vorteil.

Während die Scheduler bei der verteilten Dienstplanung jeweils nur *lokale Restriktionen* beachten müssen, die sie selbst kennen und überwachen können, zeichnet sich das Untersuchungsscheduling dadurch aus, daß für einen gültigen Schedule auch *nichtlokale Restriktionen* eingehalten werden müssen. Im Beispiel von Abbildung 1 ist die Behandlungsreihenfolge Röntgen nach Gipsentfernen für das Röntgenzimmer eine nichtlokale Restriktion. Für ihre Einhaltung kann beispielsweise ein behandlungsbegleitender Agent verantwortlich sein, der mit den Ressourcenverwaltenden in Kontakt steht.

Ein entscheidender Unterschied besteht darin, daß die Aufgaben bei der Dienstplanung nur einer Ressource benötigen (die Arbeitszeit einer Schwester), die Aufgaben beim Untersuchungsscheduling von mehreren Ressourcen aus verschiedenen Schedulingverantwortungsbereichen abhängen können.

### Aufgabenmodellierung, dynamische Erzeugung von Aufgaben

Während beim klassischen Scheduling *ausführbare Aufgaben* zeitlich limitierten Ressourcen zugeordnet werden, berücksichtigen Arbeiten aus dem Bereich der Planung [1,9,2] auch *abstrakte Aufgaben*, d.h. Aufgaben, die keiner speziellen Zeit mehr zugeordnet werden müssen, sondern die sich aus einer Menge von Teilaufgaben zusammensetzen und sogar Ausführungsalternativen (im Beispiel: einen alternativen Behandlungsplan) besitzen können. Wenn das Scheduling der ausführbaren Aufgaben eines Behandlungsplanes kein zufriedenstellendes Ergebnis liefert, kann auf einen alternativen Behandlungsplan zurückgegriffen werden. Der

<sup>1</sup> Ein "Termin" ist eine Zuordnung einer Aufgabe zu einem Zeitintervall einer Ressource

<sup>2</sup> "kontinuierlich" insofern, als daß der Schedule ständig aktualisiert wird und nicht in periodischen Abständen. In anderem Kontext wird "kontinuierlich" auch als Gegenteil zu "diskret" verstanden [5].

Ansatz aus [9] versucht daher Planung und Scheduling zu integrieren.

In [1] werden die Annahmen gemacht, daß es keine (oder nur sehr selten) Behandlungsalternativen gibt, daß jede Aufgabe ausgeführt werden muß und daß sie genau von einer Organisationseinheit übernommen werden kann. Unter diesen Annahmen kann man die Aufgabenhierarchie zu einem eindeutigen Schedulingproblem zerlegen, dennoch kann die Herleitung der auszuführenden Aufgaben aus Modellierungssicht nützlich sein.

Durch die dynamische Erzeugung der ausführbaren Aufgaben wird mehr Wissen über das reale System und seine Zusammenhänge im Modell abgebildet. Es können leichter Änderungen gemacht werden oder durch die hierarchische Herleitung der Detailgrad gewählt werden. Eine Laboruntersuchung kann beispielsweise als ganzes geschedult oder in einzelne Analyseschritte zerlegt werden, die jeder für sich einer Ressource im Labor zugeteilt werden. Darüberhinaus wird ein so gegliedertes Modell übersichtlicher, denn auf höherer Ebene interessieren die Vorgänge im Labor nicht, sondern nur das Ergebnis und die Dauer der Untersuchung.

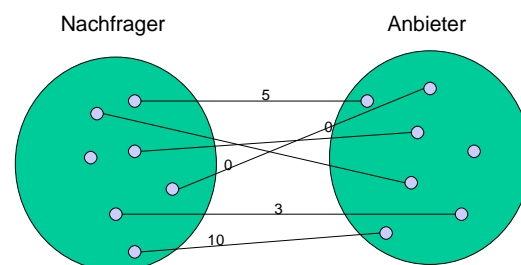
## Architekturen für Scheduling in MA-Systemen

Angeleitet durch die untersuchten Beispiele haben wir Agententypen entworfen, die die nötige Funktionalität zur kooperierenden Lösungsfindung besitzen, und deren Anwendung in den Beispielszenarien beschrieben. Momentan wird ein Framework für die Entwicklung von Agenten dieser Typen implementiert und in die Multiagentensimulationsshell SeSAM [3] integriert.

### Problemrepräsentation für die Scheduling-Komponente

Wir betrachten Scheduling als eine spezielle Form von Zuordnungsproblemen [12]. Ein

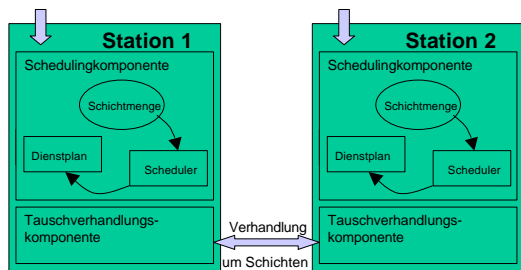
Zuordnungsproblem besteht aus einer endlichen Menge von Nachfragern und einer Menge von Anbietern (vergleiche Abbildung 2). Gesucht wird eine Zuordnung, d.h. eine Abbildung von der Menge der Nachfrager auf die Anbieter, wobei gewichtete Restriktionen eingehalten werden sollen. Das Nichteinhalten einer Restriktion erzeugt eine Verletzung in Höhe ihres Gewichtes. Beim Spezialfall des Scheduling entsprechen Aufgaben den Nachfragern, die den Anbietern - zeitlich limitierten Ressourcen - zugeordnet werden sollen. Eine Zuordnung repräsentiert dann einen Schedule.



**Figure 2.** Ein Zuordnungsproblem besteht aus einer Menge von Nachfragern und Anbietern. Gesucht ist eine Abbildung der Menge der Nachfrager auf die Menge der Anbieter, wobei gewichtete Restriktionen berücksichtigt werden sollen.

Die im Framework zugrundegelegte Repräsentation als Zuordnungsproblem ermöglicht eine Trennung von Problemlösemethode (der Algorithmus), dem Problem (Art der Nachfrager, Anbieter, Restriktionen, Heuristiken) und Probleminstanz (konkrete Anbieter- und Nachfragermengen). So kann man verschiedene Schedulingstrategien (zum Nachbau der realen Situation, oder zum Testen von besseren, komplexeren Strategien) modellieren. Ein Überblick über Lösungsmethoden für derartig repräsentierte Schedulingprobleme wird in [11] gegeben. Aufgrund der Anforderung der reaktiven Planung, sind darunter besonders inkrementelle Lösungsmethoden inter-

essant, die eine Lösung schrittweise konstruieren und durch eine Iteration von Korrekturen verbessern. Dazu gehören z.B. die "Min Conflicts"- [6], die "Iterative Repair"- [14] oder die "Vorschlagen und Vertauschen"-Methode [11]. Neben diesen recht mächtigen Problemlösungsmethoden, kann es aber auch sein, daß für die einfachen Teilschedulingaufgaben, die ein einzelner Agent bei der verteilten Planung übernehmen muß, auch einfachere Strategien wie "First come, first served" ausreichend sind. Aus diesem Grund, legt das Framework lediglich die Problemrepräsentation und nicht die Art des Problemlösers fest.



**Figure 3.** Verhandlung um den Tausch von Schichten bei der Dienstplanung.

### Scheduling-Agent mit Tauschfähigkeiten für Nachfrager

Abbildung 3 zeigt die Anwendung von kooperierenden Schedulingagenten am Beispiel der Dienstplanung des Pflegepersonals. Die skizzierten Schedulingagenten zeichnen sich neben ihren Agenteneigenschaften [8] durch eine Schedulingkomponente und Verhandlungsfähigkeiten zum Tausch von Nachfragern aus. Sie sind damit geeignet für Scheduling Szenarien, bei denen mehrere Agenten gleichartige Ressourcen verwalten und dieselben Aufgaben übernehmen können.

Die Schedulingkomponente kann aus gegebenen Aufgaben einen zeitlich differenzierten Ressourcenbelegungsplan erstellen und zeigt Problemaufgaben, d.h. Aufgaben, die bei ihrer gegenwärtigen Zuordnung

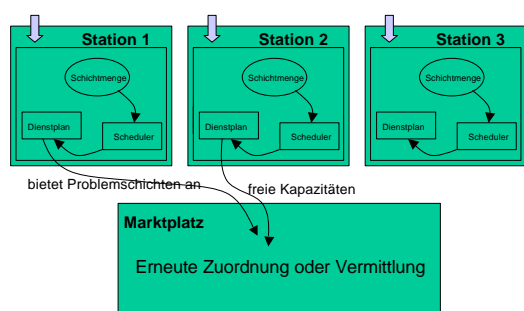
Restriktionen verletzen, an. Sie besitzt Fähigkeiten zum Rescheduling, wenn die Problemstellung von außen verändert wurde und erlaubt auch die schrittweise Lösungskonstruktion.

Zu den Verhandlungsfähigkeiten gehört die Kenntnis geeigneter Verhandlungspartner (andere Agenten, die die Fähigkeit haben, dieselben Aufgaben zu übernehmen) und ein Kommunikationsprotokoll, um Problemaufgaben mitteilen bzw. austauschen zu können. Die Kontrolle über den kooperativen Schedulingprozess liegt bei der Verhandlungskomponente. Sie tauscht Problemschichten mit den Verhandlungspartnern und regt die Schedulingkomponente nach Veränderung der Problemstellung zu einem Rescheduling an. Ein Agent kann eine in der Verhandlung angebotene Aufgabe ablehnen, übernehmen oder dem Aufgabensteller den Preis (Verletzungsgewicht) als Antwort zurückliefern. So können die (Verletzungs-)Kosten, die eine Aufgabe beim eigenen Scheduling oder bei externer Vergabe erzeugt, miteinander verglichen werden.

Im Hinblick auf die von uns eingeführte Repräsentation bedeutet der Tausch von Aufgaben, daß ein Nachfragerobjekt (z.B. eine Schicht) nach Verhandlungen aus der Problemstellung eines Schedulers entfernt wird in die Problemstellung eines anderen Nachfragers eingefügt wird. Die Verantwortung für die Ausführung wird damit übertragen.

Für die Anwendung dieser Tauschfähigkeiten gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen besteht die Möglichkeit gleich beim Auftreten einer Restriktionsverletzung mit anderen Agenten zu verhandeln, um die Verletzung in einem möglichst frühem Stadium zu beseitigen. Dieser Ansatz ist einem zentralen Scheduling schon sehr nahe. Eine andere naheliegende Strategie ist Scheduling- und Verhandlungsphasen im Wechsel durchzuführen. Zum einen ist damit die Autonomie einer Station besser modelliert - eine Station wird Wert darauf legen, zunächst ihre eigenen Aufgaben zu erfüllen,

bevor sie andere übernimmt - zum anderen ist der Kommunikationsaufwand zwischen den Agenten geringer. Bei mehr als zwei verhandelnden Agenten kann man den Kommunikationsaufwand außerdem dadurch verringern und strukturieren, daß man, wie in Abbildung 4, einen zentralen Agenten einführt, der Informationen über die Problemaufgaben und freien Kapazitäten sammelt und zwischen den Agenten vermittelt oder selbst die Zuordnung übernimmt.



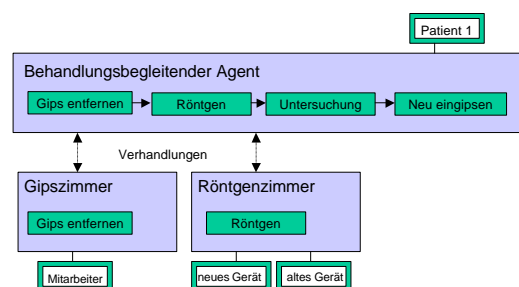
**Figure4.** Schedulingagenten zur Dienstplanung in einem marktplatzzentrierten Szenario .

### Schedulingagent mit Fähigkeiten zur Terminvereinbarung

Im Unterschied zur Dienstplanung sind die Aufgaben beim Untersuchungsscheduling nicht gleichartig und können deshalb beim verteilten Scheduling nicht unter den verschiedenen Schedulinginstanzen (Organisationseinheiten) ausgetauscht werden. Stattdessen muß die Einhaltung nichtlokaler Restriktionen gewährleistet werden und müssen Terminkonflikte<sup>3</sup> zwischen den Organisationseinheiten vermieden werden. Ein Terminkonflikt besteht bei einer mehrfachen gleichzeitigen Benutzung einer exklusiven Ressource (z.B. die Anwesenheit des Patienten).

Eine Möglichkeit zur kooperativen Problemlösung ist in diesem Falle die Verhandlung und Vereinbarung von Terminen unter

den Agenten. Benötigt ein Schedulingagent zur Erfüllung einer Aufgabe eine externe Ressource, berücksichtigt er bei der Terminzuweisung nicht nur lokale Restriktionen, sondern verhandelt mit den beteiligten, für die externen Ressourcen verantwortlichen Agenten um einen Termin, der für beide Seiten akzeptabel ist.



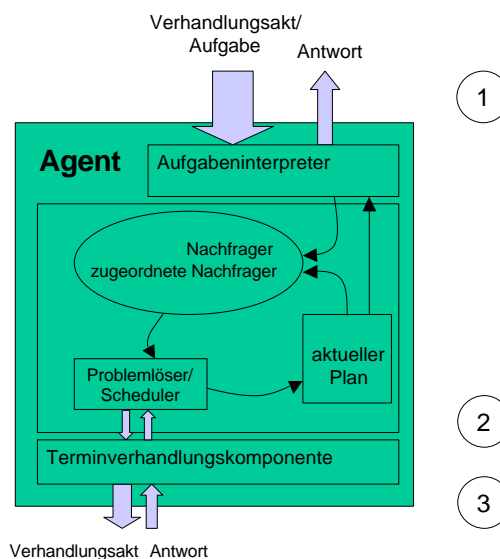
**Figure5.** Agenten in Verhandlung um Terminvereinbarung für Patientenuntersuchungen. Die Schedulingagenten besitzen Ressourcen und suchen Termine für ihre übertragenen Aufgaben. Ein Termin "Röntgen Patient 1" wird dabei sowohl vom behandlungsbegleitenden Agenten, als auch von der Röntgenstation geschedult und untereinander verhandelt.

Abbildung 5 illustriert dies und greift dazu das Beispiel des Behandlungsplanes in einer orthopädischen Klinik auf. Ein Hilfskonstrukt, der *behandlungsbegleitende Agent*, ist für das Scheduling des Behandlungsplanes zuständig und berücksichtigt bei der Zuordnung der Aufgaben zu Terminen (Zeitintervallen des Patienten) die zeitlichen Bedingungen und die Verfügbarkeit des Patienten. Bei einer Terminzuordnung an die Röntgenstation garantiert die Verhandlung mit der Röntgenstation, daß auch deren Restriktionen eingehalten werden. Diese hat wiederum die Möglichkeit, zur Optimierung ihres Schedules mit früheren Auftraggebern (anderen behandlungsbegleitenden Agenten) in Verhandlung zu treten, um störende Termine zu verschieben.

<sup>3</sup> Ein Termin ist eine Zuordnung einer Aufgabe zu einem Zeitintervall einer Ressource.

Die Entscheidung über eine Terminvereinbarung oder -veränderung muß letztendlich durch einen Vergleich von Aufgabenprioritäten oder die Schwere der Restriktionsverletzungen bei beiden Verhandlungspartnern fallen.

Wiederum kann jedes der Schedulingprobleme der beteiligten Agenten als Zuordnungsproblem verstanden werden. Der Scheduler kann bei der Zuordnung nur interne Ressourcen selbst zuordnen. Falls auch externe Ressourcen benötigt werden, wird bei der ersten Zuordnung der Aufgabe zu einem Termin eine entsprechende Aufgabe beim zuständigen Agenten erzeugt. Eine konkrete Aufgabe, ist dann zweimal im System repräsentiert. Einmal als Nachfrager beim auftraggebenden Agenten (dem Initiator der Terminvereinbarung) und ein zweites mal als Nachfrager bei dem beauftragten Schedulingagenten. Eine Änderung auf jeder der beiden Seiten zieht automatisch eine Verhandlung nach sich. Da eine Antwort auf einen Terminwunsch (Bestätigung oder Abweis) vom Verhandlungspartner zeitverzögert eintreffen kann, muß das Scheduling entweder unterbrochen werden, oder der Scheduler geht solange von einer Bestätigung aus, bis eine Absage eintrifft. In diesem Falle korrigiert der Agent die Bewertung und veranlaßt einen Reschedule.



**Figure 6.** Design eines Schedulingagenten mit Fähigkeiten zur Terminvereinbarung mit externen Ressourcen.

Abbildung 6 zeigt das Design der Schedulingagenten in unserem Framework. Ein Interpreter analysiert die Eingabe (1), eine zu schedulende Aufgabe, bzw. den Verhandlungsakt. Ein Verhandlungsakt kann die Frage nach einem Terminvorschlag für eine Aufgabe, ein schon bestimmter Terminwunsch oder eine Bitte um Verschiebung eines schon vereinbarten Termines sein. Mögliche Antworten sind eine Terminbestätigung, ein Terminvorschlag oder eine Absage, falls eine wichtige Restriktion verletzt wurde.

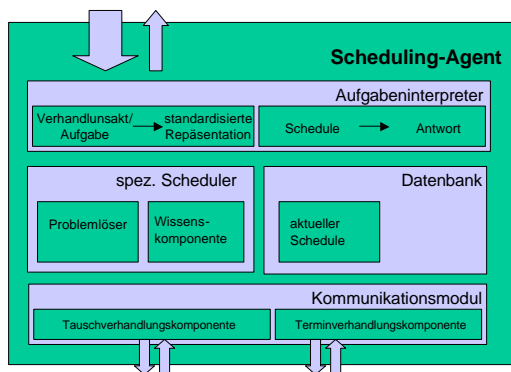
Der Interpreter übersetzt die eingegangene Aufgabe bzw. Änderung in die Anbieter/Nachfrager-Repräsentation und stößt den Scheduler an. Der Ergebnisplan wird von ihm begutachtet und je nach Schedulingerfolg eine Antwort zurückgeliefert. Eine Bitte um einen Terminvorschlag kann außerdem eine Liste bereits abgelehnter Termine beinhalten, so daß diese vom Problemlöser als Restriktion berücksichtigt werden können. Dies ermöglicht auch mehrstufige Verhandlungen, bei denen sich die Verhandlungspartner schrittweise einem Kompromißtermin annähern



können. Erfordert eine Zuordnung eine externe Ressource, muß der Scheduler bei der Zuordnung auch Verhandlungen mit den zuständigen verwaltenden Agenten führen. Er kann deshalb über die Terminverhandlungskomponente (2,3) Terminvorschläge von den Verhandlungspartnern bekommen oder sich Terminwünsche bewerten lassen.

### Framework für Schedulingagenten

In Abbildung 7 wird die resultierende Gesamtarchitektur des Frameworks für Schedulingagenten gezeigt. Der **Aufgabeninterpretier** übernimmt die Übersetzung einer durchzuführenden bzw. einzuplanenden Aufgabe in die Problemrepräsentation. Dabei werden - wenn nötig - frühere Aufgaben, bzw. der schon bestehende Schedule berücksichtigt. Umgekehrt ist er auch für die Beantwortung einer Aufgabe zuständig. Dazu interpretiert er den nach Stellung der Aufgabe generierten Schedule und entscheidet, ob einem Verhandlungswunsch entsprochen werden kann.



**Figure 7.** Gesamtarchitektur des Frameworks für Schedulingagenten.

Jeder Schedulingagent hat einen **speziellen Scheduler**, der sich aus einer allgemeinen Problemlösemethode und zusätzlichen problemspezifischen Wissen zusammensetzen kann. Dieser Problemlöser generiert aus dem bisherigen Schedule und

den neuen Aufgaben einen neuen aktuellen Schedule.

Die aktuelle übernommenen Aufgaben und die Reservierungen der eigenen Ressourcen dazu werden (als Zuordnung) in einer agenteneigenen **Datenbank** gehalten. Dies ist besonders wichtig beim kontinuierlichen Scheduling, wo bereits existierende Schedules nur leicht verändert werden sollen, wenn neue Anforderungen eintreffen.

Das **Kommunikationsmodul** hat zwei Aufgaben. Zum einen schafft es die Verbindung vom Problemlöser zur Agentenumwelt, so daß Terminvereinbarungen mit anderen Organisationseinheiten getroffen werden können. Zum anderen kann es nach der Zuordnung die Kontrolle übernehmen, Aufgaben mit anderen Agenten tauschen und dann eine erneute Problemlösung anregen.

### Zusammenfassung

Es wurde ein Konzept für die Architektur einer Schedulingkomponente vorgestellt, die in MultiAgentenSystemen zur Krankenhaussimulation und -optimierung eingesetzt werden soll. Sie erlaubt die Modellierung und Simulation agentenorientierter, verteilter Schedulingstrategien. Wie die Organisationsstruktur sind auch die Schedulingvorgänge in einem Krankenhaus sehr verteilt, liegen in verschiedenen Verantwortungsbereichen und können nur in gewissen Rahmen verändert werden. Insbesondere das Scheduling von Untersuchungen und Behandlungen unterliegt einer hohen Dynamik und die Schedulingssituation kann sich häufig durch unvorhergesehene Ereignisse verändern. Das beschriebene Konzept berücksichtigt daher Möglichkeiten zum Rescheduling. Es bietet flexible Möglichkeiten zur Modellierung, sowohl patientenweise, als auch ressourcenorientiert. So können die Verteiltheit der Organisation und Autonomie der einzelnen Organisationseinheiten nachgebildet und die Schedulingstrategien optimiert werden.

## References

1. DECKER, KEITH and JINJIANG LI: *Coordinated hospital patient scheduling*. Artificial Intelligence, 49:104–111, 1998.
2. DURFEE, EDMUND: *Planning in distributed artificial intelligence*. In *Foundations of distributed artificial intelligence*, chapter 8, pages 231–243. John Wiley and Sons, INC., 1996.
3. F., KLÜGL und PUPPE F.: *The Multi-Agent Simulation Environment SeSAM*. In: BÜNING., H. KLEINE (Herausgeber): *Simulation in Knowledge-based Systems*, Paderborn, 1995.
4. FORSTER, FRANK: *Automatische Generierung von Oberflächen zur interaktiven Lösung von Zuordnungsproblemen*. Diplomarbeit, Universität Würzburg, 1999.
5. HESTERMANN, CHRISTIAN: *Wissensbasierte anytime-suche bei diskreter und kontinuierlicher zuordnung*. internes Papier, page 01, 1996.
6. JOHNSTON, MARK D. and STEVEN MINTON: *Analyzing a heuristic strategy for constraint-satisfaction and scheduling*. In ZWEBEN, MONTE and MARK S. FOX [15], chapter 9, pages 257–289.
7. KLINGENBECK, STEFAN und FRANK PUPPE: *Personaleinsatzplanung von Zugpersonal als mehrstufiges Zuordnungsproblem*. In: SAUER, J. und B. STEIN (Herausgeber): *PuK '98 – 12. Workshop Planen und Konfigurieren*, Seiten 73–75. Universität-Gesamthochschule Paderborn, 1998.
8. KLÜGL, FRANZISKA: *Aktivitätsbasierte Verhaltensmodellierung und ihre Unterstützung in der Multiagentensimulation*. Doktorarbeit, Universität Würzburg, 2000. Dissertation.
9. MARINAGI, CATHERINE, CONSTANTINE SPYROPOULOS, and CHRISTOS PAPTAEODOROU: *Continual planning and scheduling for managing patient tests in hospital laboratories*. Artificial Intelligence in Medicine, 20:139–154, 2000.
10. ODDI, ANGELO and AMEDEO CESTA: *Toward interactive scheduling systems for managing medical resources*. Artificial Intelligence in Medicine, 20:213–138, 2000.
11. POECK, KARSTEN: *Konfigurierbare Problemlösungsmethoden am Beispiel der Problemklassen Zuordnung und Diagnostik*, Band 86 der Reihe *DISKI*. infix, Sankt Augustin, 1995.
12. PUPPE, FRANK: *Problemlösungsmethoden in Expertensystemen*. Springer, 1990.
13. SPYROPOULOS, CONSTANTINE: *Ai planning and scheduling in the medical hospital environment*. Artificial Intelligence in Medicine, 20:201–211, 2000.
14. ZWEBEN, MONTE S., BRIAN DAUN, and MICHAEL DEALE: *Scheduling and rescheduling with iterative repair*. In ZWEBEN, MONTE and MARK S. FOX [15], chapter 8, pages 241–255.
15. ZWEBEN, MONTE and MARK S. FOX (editors): *Intelligent Scheduling*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1994.